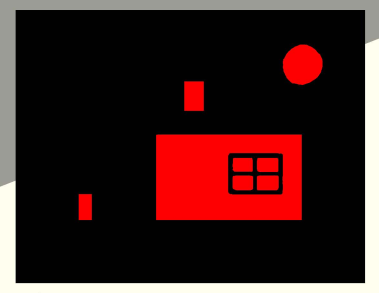




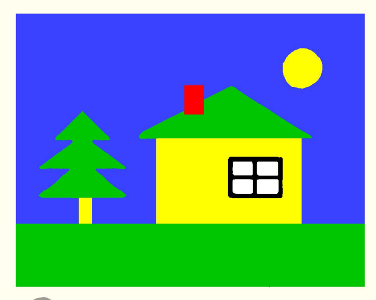
В. Ф. САМОЙЛОВ, Б. П. ХРОМОЙ

СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ SECAM

ЭНЕРГИЯ



R. КРАСНЫЙ



O. ОРИГИНАЛ



G. ЗЕЛЕНЫЙ



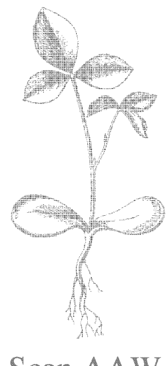
B. СИНИЙ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 646

В. Ф. САМОЙЛОВ, Б. П. ХРОМОЙ

СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ SECAM







«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

6Ф3
С 17

УДК 621.397.2

Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.

С 17 Система цветного телевидения SECAM. М., «Энергия», 1967.

64 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 646). 30 000 экз. 18 к.

Книга имеет целью ознакомить читателя с перспективной системой цветного телевидения SECAM, взятой франко-советским соглашением за основу в совместных разработках радиовещательного телевидения. В книге описываются общие для всех систем принципы создания цветного телевизионного изображения. Рассматриваются принципы основных узлов передающего и приемного устройств этой системы. В заключение дается технико-экономическое сравнение системы SECAM и систем NTSC (США) и PAL (ФРГ). Книга рассчитана на радиолюбителей, хорошо знакомых с основами радиотехники и телевидения.

$\frac{3\text{-}4\text{-}5}{321\text{-}66}$

6Ф3

ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных задач, стоящих перед современной техникой телевидения, — создание цветного телевизионного изображения.

Эта задача в теоретическом и инженерном плане сейчас решается и уже в значительной степени решена. Разработано несколько систем радиовещательного цветного телевидения. Необходимо теперь выбрать из имеющихся наиболее выгодную с технико-экономической точки зрения, усовершенствовать ее и широко применить в радиовещательном телевидении.

Такая система при высоком качестве изображения должна быть возможно более надежной в эксплуатации, простой в обращении (особенно на месте приема), цветной телевизионной приемник должен быть недорогим. Важно, чтобы качество изображения — правильная передача цветов, практически не зависела от изменяющихся в пределах нормы в процессе эксплуатации характеристик канала связи, передающего телевизионную информацию.

В настоящее время существуют две основные разновидности систем цветного телевидения: американская система NTSC (National Television System Committee — Национальный комитет телевизионных систем) и французская SECAM (Sequential à memoire — последовательная с запоминанием).

Наши научные учреждения, работающие над проблемой цветного телевидения, внесли существенный вклад в теорию и практику этой отрасли техники. В течение ряда лет Московский телевизионный центр, снабженный необходимой аппаратурой цветного телевидения отечественного производства, проводил регулярные испытательные передачи цветного телевидения как по системе поочередного, так и по системе одновременного сложения цветов. Эти экспериментальные передачи легли в основу соглашения с французскими учеными и инженерами в области совместного развития и разработки цветной телевизионной системы.

В основу этого соглашения положена французская система цветного телевидения SECAM. Следует подчеркнуть, что в последнее время советские специалисты принимают активное участие в испытаниях этой системы, разрабатывают разнообразные узлы аппаратуры — приемники, передающие устройства и др.

Автором первоначального варианта системы SECAM является талантливый французский изобретатель Анри де Франс. За свои изобретения в области цветного телевидения Анри де Франс в 1965 г. награжден французским правительством высшей национальной наградой — Орденом почетного легиона.

На конференции в Осло (июль, 1966), кроме Франции и СССР, система SECAM была принята за основу для разработок и внедрения всеми социалистическими странами. Кроме того, к этому решению присоединились Австрия, Греция, страны Среднего Востока, Африки, Южной Америки.

Американская система NTSC (и ее разновидность PAL, предложенная ФРГ) находит свое распространение не только в США. Япония, ФРГ, Канада и некоторые другие страны продолжают научно-исследовательскую и инженерную работу по устранению недостатков, которыми обладает система NTSC по сравнению с SECAM.

Каковы же основные преимущества SECAM по сравнению с NTSC? Не вдаваясь пока в технические подробности, просто перечислим эти преимущества: более простой принцип передачи и воспроизведения цветов, повышенная устойчивость работы, меньшие искажения цветов в канале связи, более простая схема телевизионного приемника, более простая его регулировка и настройка.

СОЗДАНИЕ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Роль цвета в телевидении

Техника цветного телевидения значительно сложнее, чем черно-белого. Однако существенные преимущества цветного изображения оправдывают это усложнение. Назовем основные из этих преимуществ. Во-первых, цветное изображение обладает несравненно большей художественной выразительностью, чем черно-белое. Хорошая цветная картинка более приятна, выразительна и впечатляюща.

Читатель, даже еще пока не видевший цветного телевидения, может представить себе на примере кино, насколько цветной кинофильм (особенно видовой) более выразителен по сравнению с его черно-белым вариантом.

Сейчас на черно-белом телевидении ведутся иногда передачи, для которых цвет является весьма существенной компонентой — рассказы о жизни и творчестве мастеров кисти, путешествия по живописным местам и т. п. Без цвета эти программы выглядят в большинстве случаев тускло и малоинтересно. И насколько все было бы живее и выразительнее, если бы, скажем, передача о художнике И. Е. Репине была цветной!

Передача первомайских торжеств, спортивных праздников, фестивалей будет несравненно более интересной и увлекательной на цветном телевизионном экране.

Следующим важным преимуществом цветного телевидения является значительно лучшая отчетливость и разборчивость передаваемого изображения, большая определенность очертаний объектов на экране. Это явление объясняется тем, что цвет для человека является дополнительным средством распознавания окружающей обстановки. Простой пример — два соседних участка изображения, имеющих одинаковую яркость, но разный цвет, на обычном экране сольются вместе, а на цветном будут видны как отдельные.

Следует, далее, указать на интересную особенность цветного изображения — оно обладает стереоскопичностью, объемностью. Чтобы убедиться в этом, стоит только посмотреть, например, пейзажи наших великих художников — И. И. Левитана и И. И. Шишкина. Умелым подбором цветов, их насыщенности создается необыкновенная глубина изображения.

Таким образом, цветное изображение по своей художественности, отчетливости, объемности стоит значительно выше черно-белого изображения. И соответствующее усложнение техники вполне окупается этими важными качественными показателями.

Цветовой треугольник

Окружающая нас природа наполнена обширной палитрой цветовых оттенков. Ученые установили, что нормальное человеческое зрение различает до 180 цветовых оттенков. Означает ли это, что для передачи всей гаммы цветов нужно иметь канал связи, обладающий в 180 раз большей пропускной способностью, чем обычный черно-белый канал? К счастью, это не так. Замечательное свойство глаза — трехцветное зрение — позволяет обходиться только трехкратным увеличением пропускной способности цветного канала по сравнению с черно-белым (применение специальных технических мер, о которых рассказывается дальше, дает возможность еще более сократить необходимую пропускную способность).

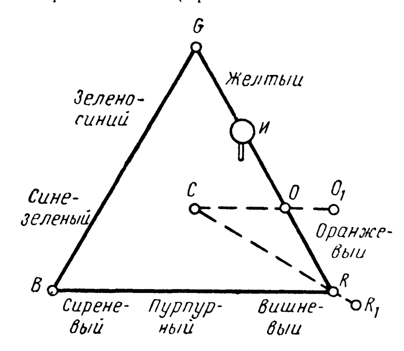


Рис. 1. Цветовой треугольник.

Упомянутое свойство зрения заключается в следующем. Правильно выбрав три основных источника цвета, именно красный (R), зеленый (G) и синий (B)[1], и смешав их в определенных пропорциях, можно получить любой из наблюдаемых человеком цветовых оттенков Таким образом, отпадает необходимость в непосредственной передаче всех цветов. Достаточно передавать информацию только о количественном соотношении трех основных цветов, синтез которых в приемном устройстве дает возможность получить нужной раскраски цветное изображение, соответствующее оригиналу.

Для пояснения сказанного представим себе такое устройство. В вершинах равностороннего треугольника *RGB* (рис. 1) расположены три цветных источника света — красный, зеленый и синий. Если включить только один из источников (например, *R*), то по мере удаления от этого источника интенсивность излучаемого им света будет, естественно, ослабевать. Для простоты дальнейших рассуждений условимся, что интенсивность света, исходящего от источника *R*, в точках *G* и *B* практически снижается до нуля (для этого треугольник *RGB* должен быть достаточно большим). Это условие должно быть справедливо также и для источников *G* и *B*, т. е. ин-

---

[1] Такое обозначение трех основных цветов принято у нас и за границей: красный Red (англ.), Rot (нем.), Rouge (фр) зеленый Green (англ.), Grün (нем.), Verdoyant (фр.); синий Blue (англ.), Blau (нем.), Bleu (фр.).

Расхождение в первых буквах имеется только во французском слове Verdoyant (зеленый). Поэтому во Франции основные три цвета часто обозначаются R, V, B.

тенсивность излучаемого ими света в противоположных вершинах также равна нулю.

Для проведения ряда опытов, иллюстрирующих законы сложения цветов, воспользуемся пустотелым белым матовым стеклянным шаром *И* (для удобства перемещения снабженным ручкой). Этот шар будет служить нам своеобразным индикатором.

ПЕРВЫЙ ОПЫТ. Включаем поочередно только один из источников света, например *R*. Шар *И*, расположенный вблизи источника *R*, нальется красным светом. По мере удаления от *R* по линии *RG* или *RB* шар, оставаясь красным, будет темнеть и в точке *G* (или *B*) станет черным.

ВТОРОЙ ОПЫТ. Включим два источника света: *R* и *G*. Очевидно, что вблизи этих источников шар *И* будет либо красным, либо зеленым. В промежуточных же положениях на линии *RG* цвет шара будет меняться. Эксперимент показывает следующее: при движении шара от источника *R* к источнику *G* его цвет будет плавно переходить от красного к оранжевому, от оранжевого к желтому и от желтого к зеленому. Таким образом, оранжевый и желтый цвета можно получить сложением (смесью) двух цветов — красного и зеленого, причем оранжевый цвет отличается, например, от желтого бо́льшим количеством красного.

ТРЕТИЙ ОПЫТ. Включим два источника света: *B* и *G*, а шар *И* поместим на линию *BG*. При перемещении шара от *B* к *G* его цвет будет плавно изменяться от синего к сине-зеленому, от сине-зеленого к зелено-синему, от зелено-синего к зеленому.

ЧЕТВЕРТЫЙ ОПЫТ. Премещаясь по линии *BR*, шар *И* будет последовательно окрашиваться в синий, сиреневый, пурпурный, вишневый и красный цвета.

Колориметрия[1] — наука о сложении цветов — установила, что на сторонах *BG*, *GR* и *BR* треугольника *RGB* расположены все цвета, различаемые человеческим глазом.

Цвета, расположенные на линии *RG*, художники называют «теплыми», на линии *BG* — «холодными». В самом деле, эти названия отражают сущность соответствующих цветов: яркие, солнечные, жизнерадостные сюжеты изображаются в основном «теплой» палитрой красного, оранжевого, желтого, изумрудного цветов. Для вечерних сумерек, зимнего холодного пейзажа, разбушевавшегося океана более подходят «холодные» сине-зеленые оттенки.

ПЯТЫЙ ОПЫТ. Включив все три источника, можно внутри треугольника *RGB* найти такую точку *C*, в которой контрольный шар будет белым. Таким образом, белый цвет (или свет) может быть получен сложением в определенных количествах трех основных цветов: красного, зеленого и синего.

ШЕСТОЙ ОПЫТ. При перемещении шара по линии *RC* его красный цвет не будет изменяться. Будет изменяться только *насыщенность* красного цвета, т. е. разбавленность красного белым. В точке *R* шар будет насыщенно красным. По мере приближения к белой точке *C* красный цвет будет «выцветать», переходя через оттенки розового. В точке *C* насыщенность упадет до нуля, шар станет совершенно белым.

Точно так же при перемещении шара по линии *BC* его цвет не изменится (останется синим). Ослабляется только насыщенность. На этой линии шар от насыщенно синего пройдет через голубые оттенки, становясь в точке *C* совершенно белым.

---

[1] Color (лат.) — цвет.

Такая же картина имеет место для линии GC и вообще для всех других отрезков прямой, соединяющих точку C белого цвета (света) со всеми точками на сторонах цветового треугольника RGB. Например, двигаясь от насыщенно оранжевой точки O по линии OC, шар не будет изменять оранжевого цвета. Будет меняться только насыщенность.

Таким подбором желательной насыщенности пользуются на практике художники, добавляя в краску белила. При этом, очевидно, цвет краски не меняется, меняется только насыщенность.

Важно отметить, что все реальные источники света не имеют 100%-ной насыщенности. Какой бы красный (зеленый, синий) источник мы ни выбирали — цветной фонарик, катодолюминофор кинескопа, цветное стекло, масляную или анилиновую краску — все равно насыщенность этих источников и светофильтров всегда менее 100%. Колориметрия установила, что 100%-ная насыщенность теоретически имеет место только в случае, когда источник излучает энергию строго одной длины волны (или частоты) [1].

Поскольку увеличение насыщенности (рис. 1) происходит по мере продвижения по прямой к точке R, например по прямой CR, а точка R не имеет еще 100%-ной насыщенности, то такая насыщенность достигается где-то в точке R_1, лежащей от точки C далее, чем точка R Точка R_1 соответствует источнику монохроматического [2] цвета.

Точно так же обстоит дело и с неосновными цветами. Например, точка со 100%-ной насыщенностью оранжевого монохроматического цвета находится в точке O_1, отстоящей от C далее, чем O.

Соединив все монохроматические точки R_1, O_1 сплошной кривой, получим так называемый *локус* [3], на котором расположены все цвета со 100%-ной насыщенностью

Цветовой график

На рис 2,*а* изображен цветовой график в координатах XYZ, используемый в колориметрии. На точках локуса указаны длины волн (*ммк*), соответствующие данному монохроматическому излучению.

Многочисленные эксперименты позволили всю площадь локуса условно разделить на отдельные участки различного цвета (рис. 2,*б*). Следует, однако, иметь в виду, что реальные границы участков не выражены так резко, как показано на этом рисунке.

Вершины треугольника RGB, находящегося внутри локуса, соответствуют трем основным цветам на экране цветного телевизора.

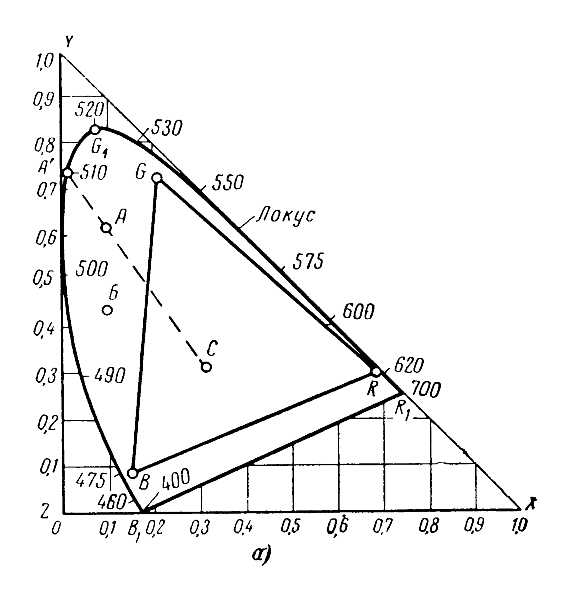
Подковообразный локус вытянут в верхней части. Нижняя часть R_1B_1 (между синим и красным), соединенная отрезком прямой линии, называется линией пурпурных цветов. Человеческий глаз воспринимает лучистую энергию как свет в диапазоне волн от 400 *ммк* (фиолетовый) до 700 *ммк* (красный). Таким образом, овальная часть локуса, проходящая через красную, зеленую и синюю области

---

[1] К такому источнику света, имеющему насыщенность, близкую к 100%, можно отнести лазер, излучающий энергию практически на одной длине волны.

[2] Монохроматический (греч.) — одноцветный.

[3] Локус (лат.) — место.



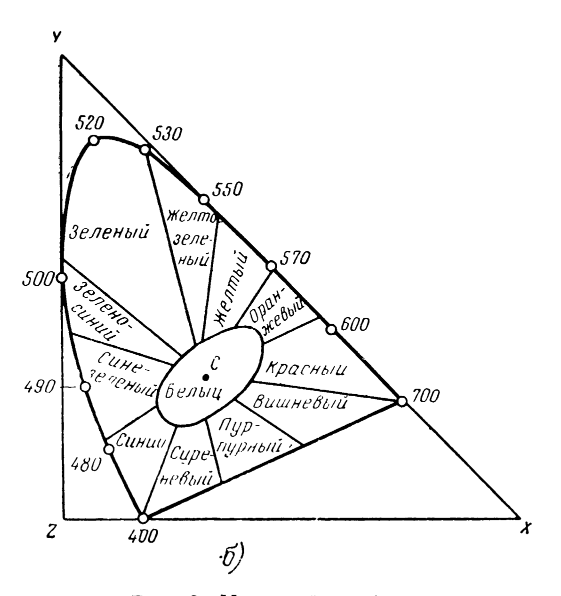


Рис. 2. Цветовой график.

а — расположение локуса и цветового треугольника, *б* — расположение цветов внутри локуса

и представляющая монохроматическое (синусоидальное) излучение, лежит в диапазоне воспринимаемых глазом длин волн. Цвета, лежащие на пурпурной линии B_1R_1, не могут быть представлены в виде одного какого-либо монохроматического излучения. Этот участок локуса соответствует сумме колебаний *двух синусоид* — синего и красного монохроматического света.

Чем больше площадь треугольника RGB, находящегося *внутри* локуса, тем более насыщенные цвета можно получить внутри этого треугольника. Например, цветовой треугольник RGB, показанный на рис. 2,*а*, не позволяет при помощи данных основных цветов R, G и B воспроизвести насыщенность точек A, $Б$, лежащих вне площади этого треугольника. Вытянутая форма локуса подсказывает целесообразность расположения вершин R, G, B как можно ближе к точкам локуса с длинами волн 700, 520 и 400 *ммк*. Однако технические трудности не позволяют изготовить светофильтры с достаточно узким спектром пропускания (для передающих устройств) и цветные катодолюминофоры с достаточно узким спектром излучения, приближающимся к локусу (для кинескопов).

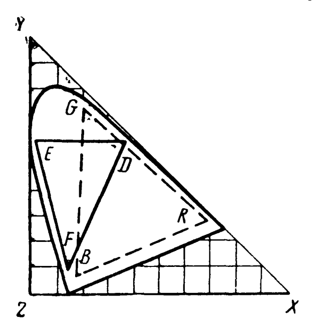


Рис. 3. Расположение цветовых треугольников RGB и DEF внутри локуса.

Вытянутая форма локуса является также причиной того, что выбор любой другой тройки основных цветов (т. е. отказ от RGB) будет менее эффективным по использованию площади локуса (например D, E, F на рис. 3).

Из изложенных кратко принципов сложения цветов следует, что любой источник света может полностью характеризоваться следующими параметрами: цветом, насыщенностью и яркостью. Для нахождения первых двух параметров, например, для источника A (рис. 2,*а*) нужно провести прямую через эту точку и «белую» точку C. Пересечение этой прямой с локусом (в точке A_1) дает ответ о цвете источника — зеленый, с эквивалентной длиной волны монохроматического излучения $\lambda=510$ *ммк*. Отношение отрезков $AC/A'C$ может служить мерой цветовой насыщенности этого источника.

Яркость исследуемого источника при помощи цветового графика не определяется и находится особо.

Одновременное и поочередное сложение цветов

В цветном телевидении используются два способа сложения цветов для получения цветного изображения: одновременный и поочередный.

Принцип одновременного сложения цветов легко продемонстрировать при помощи трех цветных проекционных фонариков — красного, зеленого и синего (см. стр. 4 обложки). Конусы света от этих фонариков направляются на экран $Э$, где они образуют фигуру из трех частично перекрывающихся кругов. В попарно перекрывающихся областях получается оранжевая, сине-зеленая и пурпурная окраска. Сложение трех цветов (в правильной пропорции) в центре фигу-

ры дает белый цвет. Поскольку три цветных потока падают на экран одновременно, такой способ сложения цветов и называется одновременным.

Для иллюстрации принципа поочередного сложения цветов воспользуемся проекционным фонариком *Ф*, излучающим конус *белого* света (см. 3 стр. обложки). Поместив перед объективом фонарика вращающийся диск со светофильтрами, получим на экране *Э* поочередное сложение цветов. Скорость вращения этого диска должна быть достаточно большой, чтобы на экране не было заметно мельканий. Светофильтры представляют собой прозрачную пленку (часто целлофановую), окрашенную в тот или иной цвет.

Если вращающийся диск состоит, например, из двух светофильтров — красного и зеленого, то видимое глазом на экране светлое пятно будет оранжевым или желтым в зависимости от количественного соотношения этих двух составляющих. Точно так же при любой другой паре светофильтров получится сложение цветов, соответствующее цветовому графику на рис. 2.

Использование вращающегося диска, содержащего три светофильтра: *R*, *G* и *B*, при правильно выбранных количественных соотношениях этих цветов создаст на экране белый круг[1].

На первых порах развития цветного телевидения широко использовался метод поочередного сложения цветов для создания цветного изображения, имеющий важное достоинство — простоту. Однако, как выяснилось в дальнейшем, для радиовещательного телевидения более выгодным с технико-экономической точки зрения оказался метод одновременного сложения цветов. Все современные радиовещательные системы цветного телевидения, находящиеся в эксплуатации или еще не вышедшие из стен лабораторий, работают по методу одновременного сложения цветов (во всяком случае, в приемном устройстве).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Система с поочередным сложением цветов

Для того чтобы уяснить работу современных, так называемых совместимых систем цветного телевидения, ознакомимся кратко сначала с поочередным сложением цветов. Упрощенная блок-схема такой системы представлена на рис. 4.

Перед обычной (черно-белой) передающей камерой вращается диск с тремя светофильтрами, окрашенными в основные цвета. Скорость движения диска должна быть подобрана такой, чтобы за время прохождения перед объективом камеры светофильтра одного цвета осуществилась развертка всего проектируемого на фотокатод передающей трубки изображения. После усиления видеосигнал подается на передатчик и затем на несущей частоте излучается в эфир.

---

[1] Подбирать количество красного, зеленого и синего можно двумя путями. Во-первых, густотой окраски (прозрачностью) светофильтра, во-вторых, относительной шириной сектора, занимаемого тем или другим светофильтром.

Принятый сигнал после приемника и видеоусилителя подается на управляющий электрод черно-белого кинескопа. Перед его экраном вращается диск со светофильтрами, подобный передающему диску. Радиозритель смотрит на экран телевизора через вращающийся диск.

Передающий диск служит для цветового анализа передаваемого изображения. Сложное по цветовому составу изображение *O* (см. стр. 2 обложки) разделяется на три последовательных одноцветных кадра *R*, *G*, *B*. На этом рисунке оранжевая стенка домика или желтое солнце передается согласно законам колориметрии в двух кадрах — красном и зеленом. Белое окно — в трех кадрах.

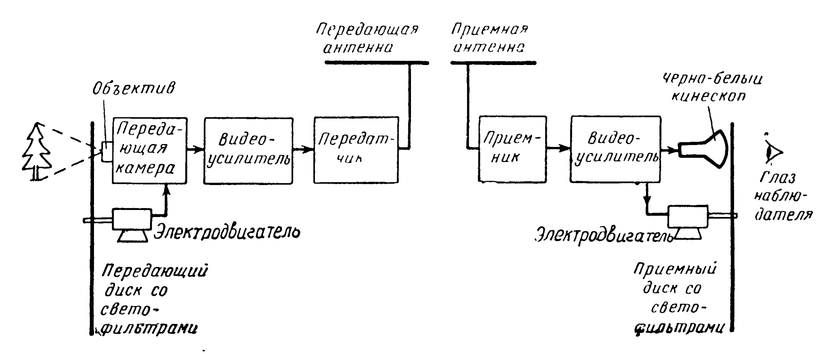


Рис. 4. Блок-схема системы цветного телевидения с поочередным сложением цветов

При достаточно быстром вращении дисков отдельные одноцветные изображения на экране кинескопа сливаются в многоцветную картину, соответствующую оригиналу.

Очевидно, что для правильной цветопередачи, кроме электронной синхронизации разверток в передающей и приемной трубках, необходимо еще осуществить механическую синхронизацию и фазировку вращения моторов с дисками. На блок-схеме рис. 4 необходимость такой синхронизации показана линиями со стрелками, идущими от мотора к видеоусилителю (передающая сторона) и от видеоусилителя к мотору (приемная сторона).

Основными достоинствами системы с поочередным сложением цветов являются: простота идеи; использование только одной передающей трубки, одного обычного (черно-белого) кинескопа; простота цветовой синхронизации. Создается впечатление, что стоит только к обычному черно-белому телевизионному оборудованию пристроить на передающей и приемной стороне по мотору с вращающимися светофильтрами, как система телевидения станет цветной.

Действительно, в ряде технических, специальных случаев система с поочередным сложением цветов может быть с успехом использована. Однако, для радиовещательного телевидения она оказалась непригодной. Следующие существенные недостатки системы заставили отказаться от ее применения в радиовещании: чрезмерно большая полоса частот телевизионного сигнала, трудность исполь-

зования кинескопов с большим экраном, разрывы цветов при передаче движущихся изображений, невозможность совместимости.

Рассмотрение недостатков начнем с самого существенного — невозможности совместимости. В настоящее время в нашей стране, а также и за границей выпущено большое количество черно-белых телевизионных приемников, исчисляющееся миллионами. В связи с этим следует искать такие принципы построения системы цветного телевидения, которые укладывались бы в рамки установленных основных стандартов черно-белого телевидения.

Важнейшие показатели этого стандарта — полоса частот, занимаемая телевизионным каналом, и частоты строчной и кадровой разверток. Если система цветного телевидения не будет удовлетворять стандарту хотя бы по этим двум основным показателям, владельцу черно-белого телевизора придется купить еще и цветной (на первых порах, наверняка, дорогой). И, наоборот, приобретя цветной телевизор и не имея черно-белого, телезритель не будет иметь возможность смотреть черно-белые передачи.

Принцип совместимости в цветном телевидении означает, с одной стороны, возможность приема цветных передач на обычный черно-белый телевизор без всяких переделок в его схеме и конструкции (естественно, что эти передачи будут видны в черно-белом виде). С другой стороны, приемник цветного телевидения, также без всяких переделок, должен быть способен, кроме цветных, принимать обычные черно-белые программы. Принцип совместимости означает сосуществование цветного и черно-белого телевидения и обеспечивает возможность постепенного перехода от черно-белого телевидения к цветному.

Как уже было сказано, система с поочередным сложением цветов не удовлетворяет принципу совместимости. Основной причиной этого является так называемое цветовое мелькание. Поясним сказанное. Как известно, в телевидении передается 50 кадров в секунду [1]. Эта частота смены кадров выбрана с таким расчетом, чтобы устранить мелькания. При более низкой частоте кадров все изображение неприятно мелькает. Повышая частоту кадров примерно до 40—45 *кадр/сек*, мы добьемся исчезновения мельканий. Частота, при которой мелькания становятся почти незаметными, называется критической. В телевидении частота кадров, выбранная равной 50 *кадр/сек*, во-первых, с некоторым запасом перекрывает критическую частоту мельканий; во-вторых, совпадение этой частоты с частотой питающей сети делает сетевые помехи (фон) на экране неподвижными, т. е. значительно менее заметными, чем движущиеся.

Посмотрим, как обстоит дело с мельканием в системе с поочередным сложением цветов, блок-схема которой изображена на рис. 4. Если для обеспечения принципа совместимости сохранить частоты строчной и кадровой разверток теми же, что и в черно-белом телевидении, то появятся недопустимые, неприятные и раздражающие радиозрителя цветовые мелькания. Их появление удобно пояснить на следующем простом примере. Допустим, что объектом передачи является изображение красного флага на синем фоне (см. стр. 2 обложки). Как видно из рисунка, хотя период кадров со-

---

[1] Точнее говоря, при чересстрочной развертке передается 50 полей (или полукадров) в секунду. Однако для упрощения терминологии специалисты, говоря о кадровой частоте, имеют в виду именно полукадровую.

ставляет $T_к = \frac{1}{f_к} = \frac{1}{50}$ *сек*, появление одного и того же цвета (например, красного) осуществляется с периодом

$$T_ц = 3T_к = \frac{3}{50} \text{ сек},$$

т. е. частота цветовых мельканий оказывается втрое ниже, чем частота кадров

$$f_ц = \frac{f_к}{3} = \frac{50}{3} = 16{,}7 \text{ гц},$$

т. е. значительно ниже критической частоты мельканий.

Для устранения неприятного явления цветового мелькания в системе с поочередным сложением цветов приходится втрое увеличивать частоту кадров. При этом частоты строчной и кадровой разверток также утраиваются, а генераторы разверток в обычном черно-белом телевизоре не могут работать без существенных переделок на утроенной частоте и поэтому поочередная система оказывается несовместимой.

При повышении частоты кадров втрое спектр частот телевизи онного сигнала также расширяется в 3 раза, и система с поочередным сложением цветов оказывается несовместимой и по этому признаку.

Коснемся теперь вкратце других недостатков системы, которые были бы не очень существенными и над устранением которых следовало бы поработать, если бы система была совместимой.

Для современных телевизоров характерно использование кинескопов с большими размерами экрана (47, 59, 65 *см* и более). Диск со светофильтрами, вращающийся перед таким экраном, должен иметь диаметр по крайней мере в 2 раза больше размера изображения. Такой вращающийся диск величиной с колесо от троллейбуса нельзя считать удобным для домашнего телевизионного приемника.

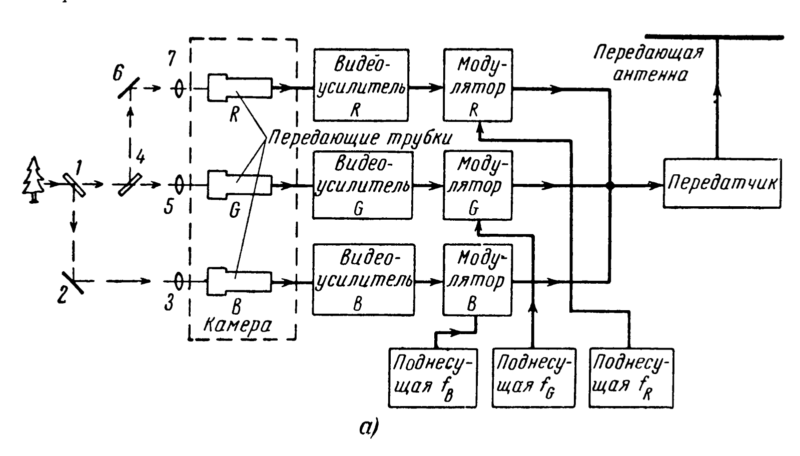
При передаче движущихся изображений, окрашенных в сложные цвета, неизбежны так называемые разрывы цветов. Например, оранжевый цвет изображения передается двумя кадрами — красным и зеленым. Так как за время передачи кадра движущееся изображение (или его части) может заметно переместиться, его красная составляющая не совпадет точно с зеленой. Появляется «цветовая бахрома» вдоль движения изображения.

Нечто похожее происходит также при непроизвольном скачкообразном движении глаз радиозрителя. Увидев пусть даже неподвижный оранжевый объект сначала в зеленом виде, взгляд, не дожидаясь второго (красного) кадра, переместится на другую часть экрана, а оранжевый объект в сознании радиозрителя остается зеленым.

Система с одновременным сложением цветов

Блок-схема передающего устройства системы с одновременным сложением цветов в своем упрощенном (первоначальном) варианте представлена на рис. 5,*а*. Лучи света, исходящие из объекта пере-

дачи, попадают на цветоизбирательные (дихроичные)[1] зеркала *1* и *4*. Дихроичное зеркало (устройство которого мы опишем позже) обладает следующим свойством: оно отражает лучи одного цвета, а пропускает лучи других, оставшихся цветов. Например, зеркало *1* отражает лучи *1—2* синего цвета, а пропускает лучи *1—4* зеленого и красного цветов.



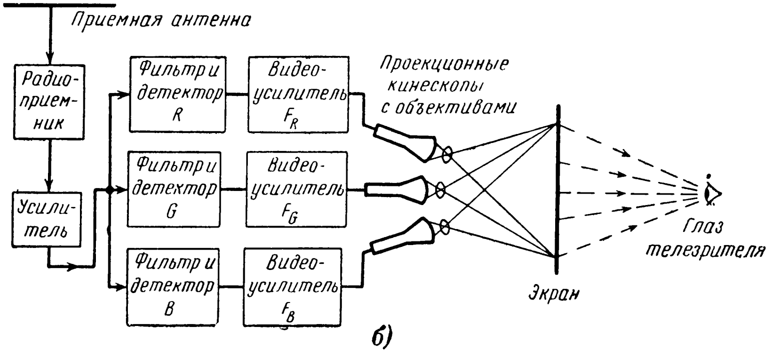


Рис. 5. Блок-схема одновременной системы цветного телевидения.
а — передающая часть; *б* — приемная часть.

Зеркало *4* отражает красные лучи *4—6* и пропускает зеленые лучи *4—5*. Таким образом, на фотокатод каждой из трех передающих трубок камеры попадает только составляющая одного из трех основных цветов: *R*, *G* или *B*.

Для того чтобы все три сигнала можно было излучать одним передатчиком, их следует сначала поместить на поднесущие частоты. Для этого после усиления видеосигналы поступают на модуляторы,

[1] Дихроичный (греч.) — двухцветный.

куда также подаются напряжения поднесущих частот f_R, f_G и f_B. В результате три видеосигнала оказываются разнесенными по оси частот, как показано на рис. 6. Если считать спектры цветных сигналов равными между собой

$$F = F_R = F_G = F_B = 6 \textit{ Мгц},$$

то ширина полного спектра частот сигнала одновременной системы составит:

$$F_{\text{полн}} = 3F + 2\Delta F = 3 \cdot 6 + 2 \cdot 1 = 20 \textit{ Мгц}$$

(защитные частотные полосы необходимы для четкого разделения цветных сигналов полосовыми фильтрами на месте приема).

Таким образом, передатчик должен излучать в эфир сигнал с полосой около 20 *Мгц*.

Частоты строчной и кадровой разверток электронного луча любой из трех передающих трубок равны соответствующим частотам

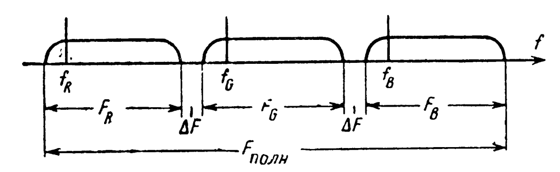


Рис. 6. Спектр частот одновременной системы.

в черно-белом телевидении Следовательно, по этому признаку одновременная система оказывается совместимой. Но по своему чрезмерно большому спектру ($F_{\text{полн}} = 20$ *Мгц*) она несовместима. Однако ряд найденных впоследствии технических методов позволил сократить полосу передаваемых частот до стандартной (т. е. около 6 *Мгц*) не в ущерб качеству принимаемого изображения, т. е сделать одновременную систему совместимой и по полосе частот. Ниже мы рассмотрим эти методы.

Существенным элементом оптики передающей камеры являются дихроичные зеркала *1* и *4* (рис. 5,*а*). Они служат для двух целей. Во-первых, с их помощью световой поток, исходящий от объекта передачи, разделяется на три потока в соответствии с числом передающих трубок. Во-вторых, дихроичные зеркала служат светофильтрами, разделяющими световой поток по цвету.

Устройство этих зеркал поясняется на рис. 7,*а*. Хорошо отполированное стекло покрывается тонкой прозрачной пленкой диэлектрика. Белый луч I_1, попадая на зеркало, частично отражается (лучи I_2 и I_3) и частично проходит через него (I_4). В зависимости от толщины пленки, коэффициентов преломления стекла и пленки и длины световой волны лучи, отраженные от границы стекло—пленка (I_2) и пленка—воздух (I_3), могут в зависимости от длины волны (т. е цвета) оказаться либо в фазе, либо в противофазе, либо в промежуточном состоянии. Таким образом, интенсивность отраженного света зависит от длины волны. Типичные графики зависимости коэффициента отражения ρ:

$$\rho = \frac{I_2 + I_3}{I_1}$$

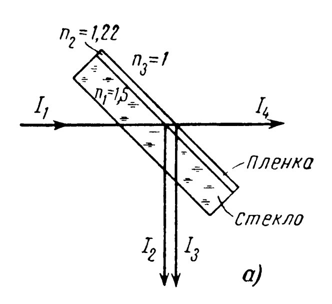
и коэффициента пропускания τ:

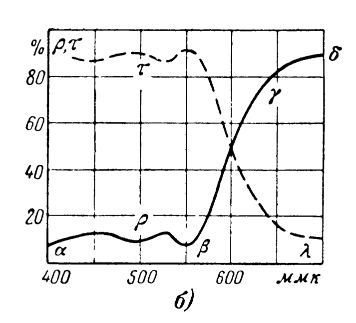
$$\tau = \frac{I_4}{I_1}$$

представлены на рис. 7,*б*. Как видно из этих графиков, сумма прошедшего и отраженного света примерно (с точностью до потерь) равна падающему на зеркало свету:

$$\rho + \tau = 1.$$

Дихроичное зеркало *1* отражает синюю часть спектра, которая обычно зеркалом *2* и объективом *3* направляется на фотокатод «синей» передающей трубки. Прошедший через зеркало *1* зеленый и красный световой поток таким же образом расщепляется зеркалом *4* на зеленый и красный.





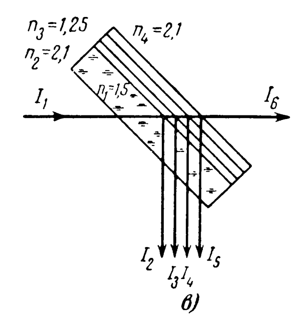


Рис 7. Устройство и работа дихроичного зеркала.

а — зеркало с одной пленкой; *б* — зависимости отражения ρ и пропускания τ от длины волны света; *b* — зеркало с многослойной пленкой.

Для лучшей цветовой избирательности дихроичного зеркала нанесенная на него пленка делается многослойной (рис. 7,*в*). Подбором коэффициентов преломления в этих пленках, их толщины и порядка их расположения удается добиться значительно лучшей зависимости коэффициентов отражения ρ и пропускания τ от длины волны, т. е. большей крутизны среза на участке βγ (рис. 7,*б*) и лучшей равномерности характеристики на участках пропускания αβ и отражения γδ.

Блок-схема приемного устройства системы с одновременным сложением цветов дана на рис 5,*б*. После антенны, радиоприемника

и усилителя сигнал поступает на три полосовых фильтра, которые выделяют из трех только одну из поднесущих: f_R, f_G или f_B, соответственно промодулированных цветными сигналами F_R, F_G или F_B. После детектирования и усиления каждый из сигналов подается на управляющий электрод своего проекционного кинескопа. Можно было бы использовать черно-белые кинескопы с соответствующими светофильтрами перед экраном. Однако гораздо более эффективными являются кинескопы, у которых вещество катодолюминофора подобрано так, что он светится только одним из трех основных цветов: красным [фосфат цинка $Zn_3(PO_4)_2$], зеленым (виллемит $Zn_2SiO_4 \cdot Mn$) или синим (сульфид цинка $ZnS \cdot Ag$). Если объект передачи имеет вид, показанный на стр. 2 обложки, то на экранах трех цветных кинескопов появится одно из изображений *R*, *G* или *B*. Подчеркнем, что в поочередной системе эти изображения появляются на экране одного кинескопа поочередно. Здесь же, в одновременной системе, все три цветных изображения появляются одновременно на трех кинескопах.

При помощи проекционных объективов свет с экранов кинескопов проектируется на большой экран, где и происходит одновременное сложение цветов. Этот экран иногда конструктивно удобно выполнить из матового стекла и рассматривать цветное изображение с противоположной от кинескопов стороны.

Цветной кинескоп

В описанной одновременной системе обращает на себя внимание громоздкость входных и выходных устройств. Камера должна содержать три передающие трубки с соответственным утроением оборудования: отклоняющими системами, схемами питания и, что особенно неприятно, «тройной» весьма сложной оптикой. Выходное приемное устройство содержит три кинескопа, что дорого и неудобно для радиозрителя.

В современных одновременных системах, как и в первых вариантах этих систем, по-прежнему используются три передающие трубки и сложная оптика. Нужно учитывать, однако, что передающая камера цветного телевидения служит большому количеству цветных телевизоров и высокая стоимость ее изготовления и эксплуатации в пересчете на один телевизор, составит ничтожную величину. Важно также, что эта камера повседневно обслуживается на Телецентре квалифицированными специалистами (чего нельзя сказать о цветном телевизоре) и тем самым высокое качество ее работы гарантируется.

Сложное дорогостоящее приемное устройство с тремя проекционными кинескопами, имеющее сравнительно большой экран (1 *м*² и более), пригодно для обслуживания больших аудиторий: клубов, агитпунктов, домов отдыха и т. п.

Для замены в домашнем телевизоре трех кинескопов одним разработан специальный трехцветный кинескоп, устройство которого поясняется на рис. 8.

Экран кинескопа выполняется в виде мозаики, состоящей из сотен тысяч точечных катодолюминофоров трех сортов: «красного», «зеленого» и «синего» (эти условные названия означают, что под действием электронного луча данный катодолюминофор дает свечение соответствующего цвета). Точечные катодолюминофоры обра-

зуют группы из трех точек R, G, B, систематически повторяющиеся по направлению вдоль строки (рис. 8,*б*).

В соответствии с точечным трехцветным экраном в кинескопе имеются три отдельных электронных прожектора *1*, создающих три электронных луча *2*, которые также назовем условно «красным», «зеленым» и «синим». Интенсивность этих лучей управляется взаимонезависимо подачей соответствующих напряжений E_R, E_G и E_B на управляющие электроды. Однако развертка по строкам и кадрам производится одновременно одной, общей для всех лучей, отклоняющей системой *3*.

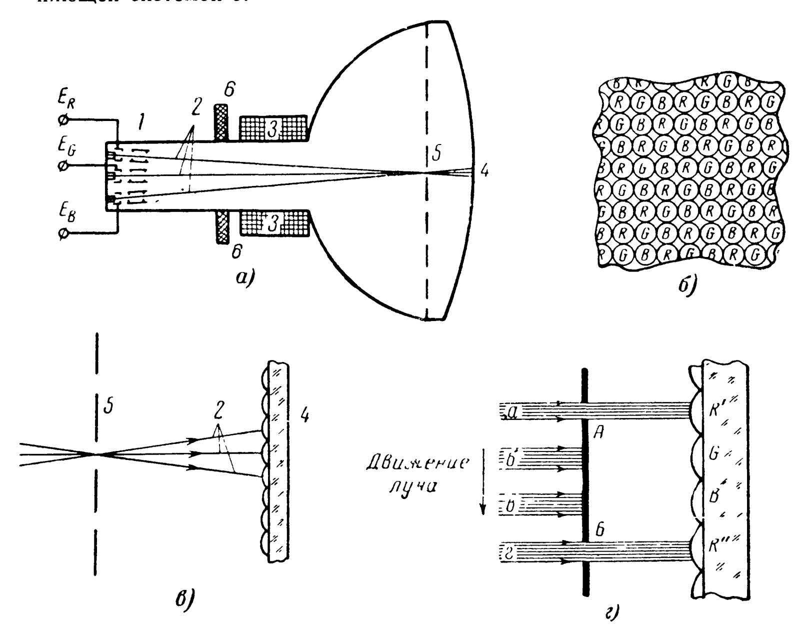


Рис. 8. Устройство и работа трехцветного кинескопа.

а — эскиз трубки; *б* — устройство мозаичного экрана; *в* — прохождение лучей через отверстия маски; *г* — работа маски.

Для того чтобы каждый из электронных лучей, достигая экрана, попадал только на свои точки катодолюминофора, перед экраном *4* помещается так называемая маска *5*, представляющая собой тонкую металлическую пластину с многочисленными отверстиями для прохождения электронных лучей. Электронная оптика трубки устроена так, чтобы обеспечить схождение всех трех лучей в общей точке на поверхности маски. Таким образом, при наличии кадровой и строчной разверток электронные лучи будут одновременно проникать через все отверстия маски, возбуждая три точечных катодолюминофора, находящихся непосредственно за отверстием (рис. 8,*в*). Если бы маска отсутствовала, каждый из лучей, двигаясь по строкам и кадрам, возбуждал бы кроме «своих» точек, также и точки двух других катодолюминофоров.

Рис. 8,*г* иллюстрирует защитное действие маски. На этом рисунке для простоты изображен только один «красный» электронный луч в четырех положениях: *а, б, в, г*. Когда луч сходит с точки R', участок *АБ* маски закрывает точки *G* и *В* от попадания на них «красного» луча. Такая же картина происходит и с двумя другими лучами, проникающими через отверстия маски только на свои катодолюминофоры.

Наличие трех электронных прожекторов, маски, мозаичного экрана делает цветной кинескоп значительно более сложным по сравнению с черно-белым. Кроме указанных усложнений, снаружи цветного кинескопа укрепляется еще ряд дополнительных электромагнитов *6*, служащих для обеспечения сходимости лучей на всей поверхности маски, и т. п. Таким образом, устройство и эксплуатация описываемого цветного кинескопа оказываются достаточно сложными.

Дополнительным недостатком кинескопа с маской является необходимость иметь существенно большую мощность каждого электронного луча, чем в черно-белом кинескопе. Это объясняется тем, что маска бесполезно задерживает значительную часть электронов, и чтобы расположенные за маской катодолюминофоры имели достаточное возбуждение, энергию лучей следует увеличить в несколько раз. Так, например, если для черно-белого кинескопа ток луча и напряжение главного анода соответственно составляют $i_{ч.б}=200$ *мка* и $U_{ч.б}=16$ *кв*, то для цветного кинескопа с таким же примерно экраном $i_{цв}=1\,000$ *мка* и $U_{цв}=25$ *кв*.

Существуют еще разновидности трехцветных кинескопов других конструкций и принципов действия. Описанный кинескоп оказывается в настоящее время наиболее распространенным, так как он относительно менее сложен и более надежен в работе. Ограниченный объем нашей брошюры не позволяет дать описание других цветных кинескопов.

Сигнал яркости

Обычный черно-белый телевизор не может принимать изображение (конечно, в черно-белом виде) описанной одновременной системы еще и потому, что в видеосигнале этой системы нет составляющей, соответствующей черно-белому изображению. Можно, настраивая телевизор на один из спектров рис. 6, получить в черно-белом виде одно из цветных изображений *R*, *G* или *B*. Очевидно, что ни одно из этих изображений непригодно для роли черно-белого.

Таким образом, для обеспечения совместимости необходимо, чтобы передатчик системы цветного телевидения, кроме сигналов, передающих информацию о цвете, излучал также сигнал, соответствующий черно-белому изображению. Этот сигнал называют обычно сигналом яркости, так как отдельные участки черно-белого изображения отличаются только яркостью.

Сигнал яркости может быть получен сложением всех трех основных цветов сигналов *R*, *G* и *B*. Однако вследствие неодинаковой чувствительности глаза к различным цветам три напряжения, входящие в сигнал яркости, не должны быть равны между собой.

Кривая спектральной чувствительности человеческого зрения (кривая видности *k*) дана на рис. 9. Глаз наиболее чувствителен к зеленому цвету, менее — к красному, и еще менее — к синему. Это означает, что при одинаковой мощности цветовых потоков, попадающих в глаз, зеленый поток будет казаться наиболее ярким по сравне-

нию с красным и синим. Для создания большей естественности и выразительности изображения в системе черно-белого телевидения нужно учитывать это свойство зрения. Хотя картина и не будет цветной, яркость «зеленых» мест изображения должна быть больше, чем «красных» и «синих».

Экспериментально установлено, что при выбранных трех основных цветах (вершины треугольника RGB на цветовом графике рис. 2,*а*) относительное содержание R, G и B в яркостном, т. е. черно-белом, сигнале соответствует уравнению

$$E_Y = 0{,}30E_R + 0{,}59E_G + 0{,}11E_B$$

(т. е. яркостный сигнал белых частей изображения содержит 30% «красного», 59% «зеленого» и 11% «синего» сигналов).

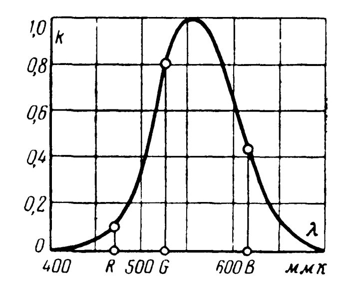


Рис. 9. Кривая спектральной чувствительности глаза с указанием на ней основных цветов R, G и B.

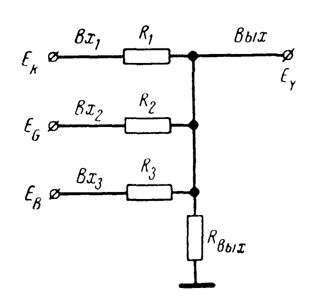


Рис 10 Схема матрицы.

Объясним несколько подробнее это важное для цветного телевидения уравнение. Представим себе, что на фотокатоды трех передающих трубок проектируется простое изображение, состоящее из белой полосы на черном фоне. Дихроичные зеркала разделят свет от белой полосы на три основные цветные составляющие R, G и B. Регулировкой усиления в трех видеоусилителях добиваются на их выходе равенства напряжений всех трех составляющих видеосигнала:

$$E_R = E_G = E_B.$$

Так осуществляется предварительная регулировка относительной чувствительности передающей трехтрубочной камеры.

Для создания сигнала яркости (который, повторим, необходим для работы черно-белого телевизора) используется так называемая матрица. Простейшая схема матрицы, содержащая четыре резистора (делителя напряжения), дана на рис. 10. При достаточно больших входных сопротивлениях резисторов R_1, R_2 и R_3 по сравнению с выходным $R_{вых}$ делители напряжений оказываются взаимно не связанными, т. е. на резисторе $R_{вых}$ выделяются следующие напряжения:

$$E'_R = E_R \frac{R_{вых}}{R_1}; \quad E'_G = E_G \frac{R_{вых}}{R_2}; \quad E'_B = E_B \frac{R_{вых}}{R_3}.$$

Подобрав коэффициенты деления

$$\frac{R_{вых}}{R_1}=0,30; \quad \frac{R_{вых}}{R_2}=0,59; \quad \frac{R_{вых}}{R_3}=0,11,$$

получим на выходе матрицы следующий сигнал яркости:

$$E_Y=E'_R+E'_G+E'_B=0,30E_R+0,59E_G+0,11E_B.$$

В черно-белом телевизоре яркостный сигнал E_Y поступает на управляющий электрод кинескопа.

Следующий пример поможет лучше понять смысл очень важного для цветного телевидения уравнения

$$E_Y=0,30E_R+0,59E_G+0,11E_B.$$

Возьмем в качестве объекта передачи две площадки с одинаковой интенсивностью излучения — белую и синюю. Зрителю, непосредственно наблюдающему эти площадки, будет казаться, что они имеют разные яркости. В соответствии с этим уравнением яркость синей площадки оценивается только как 11% от белой. На экране черно-белого телевизора цвета площадок исчезают. Однако синяя площадка (в белом виде) за счет матрицирования (а не за счет неравномерной спектральной чувствительности глаза) будет менее яркой. Ее яркость также составит 11% по сравнению с белой (для синей площадки напряжения E_R и E_G, поступающие от «красной» и «зеленой» передающих трубок, очевидно, пропадают и $E_Y=0,11E_B$).

Для того чтобы введение в систему цветного телевидения сигнала яркости не требовало дополнительного расширения полного спектра частот, следует один из трех «цветных» сигналов E_R, E_G или E_B исключить из передачи. Это можно сделать, основываясь на том же уравнении. Если на месте приема, кроме сигнала яркости E_Y, имеются еще два сигнала цветности, например E_R и E_B, то необходимый для полного воспроизведения цветов третий сигнал цветности E_G можно получить матрицированием. В самом деле, из последнего уравнения следует:

$$E_G=\frac{1}{0,59}(E_Y-0,11E_B-0,30E_R).$$

Таким образом, в приемном устройстве на три входа матрицы (имеющей, например, схему, подобную рис. 10) следует соответственно подать сигналы E_Y—E_B и —E_R и подобрать нужным образом коэффициенты деления $R_{вых}/R_1$, $R_{вых}/R_2$ и $R_{вых}/R_3$. Отрицательные знаки перед E_B и E_R означают необходимость предварительного изменения полярности этих сигналов фазопереворачивающими каскадами. Подбором усиления в дальнейших каскадах нужно также ввести корректирующий множитель 1/0,59. Следовательно, применение в приемном устройстве соответствующего матрицирования позволяет из трех принятых сигналов E_Y, E_R и E_B получить четыре: E_Y, E_R, E_B и E_G.

Полный спектр частот сигнала, вырабатываемого такой системой (рис. 11), еще не отличается по величине от спектра системы на рис. 9,*а*. В данном случае следует только на графике спектров (рис. 6) участок f_G+F_G заменить частотными составляющими яркостного сигнала f_Y+F_Y. Однако данная система является уже в зна-

чительной степени совместимой. Действительно, черно-белый приемник, настроенный на прием участка спектра $f_Y + F_Y$ и получающий, таким образом, сигнал яркости, может принимать цветную программу в черно-белом виде. С другой стороны, цветной телевизор, принимающий сигнал черно-белого телевидения E_Y, может воспроизвести этот сигнал в черно-белом виде на цветном кинескопе. Для

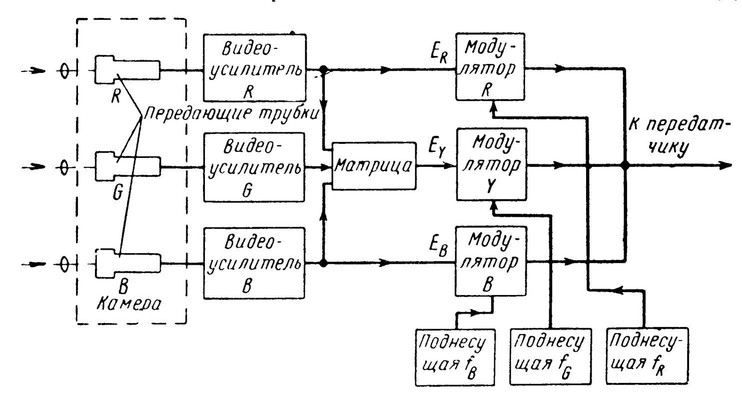


Рис. 11. Блок-схема передающей части одновременной системы с образованием сигнала яркости.

этого надо только, чтобы этот сигнал синхронно поступал на все три управляющих электрода трехцветного кинескопа. Белое свечение на экране создастся как сумма трех цветов соответствующих точечных катодолюминофоров.

Полоса частот мелких цветных деталей

Человеческий глаз плохо различает цвета мелких деталей. Это свойство глаза позволило существенно сократить требуемый спектр частот цветного телевизионного сигнала.

Для того чтобы лучше разобраться в этом вопросе, найдем сначала связь между величиной мелкой детали изображения и требующейся для ее передачи верхней границей полосы частот.

На рис. 12,*а* в упрощенном виде представлена строка изображения с равномерно чередующимися на ней черными и белыми деталями. Напряжение сигнала этой строки $u_{\text{сигн}}$ (рис. 12,*б*) из-за апертурных искажений не имеет вида прямоугольных импульсов. Для простоты можно принять, что $u_{\text{сигн}}$ имеет форму синусоиды, частота которой определяется так:

$$f_{\text{дет}} = \frac{1}{2T_{\text{дет}}}.$$

Исходя из очевидных соотношений (рис 12,*а*, *б*)

$$\frac{T_{\text{стр}}}{2T_{\text{дет}}} = \frac{l}{2d},$$

получаем.

$$f_{дет}d = \frac{l}{2T_{стр}},$$

т. е при заданных длине строки l и длительности прямого хода $T_{стр}$ произведение $f_{дет}\ d$ является постоянной величиной. Это означает, что для передачи более мелких деталей d требуется более высокая частота $f_{дет}$.

На рис. 12,*в* дан график зависимости этой высшей частоты спектра $f_{дет}$ от размера детали d для взятых из практики величин l=420 *мм* (кинескоп 53ЛК4Ц) и $T_{стр}$=64 *мксек.*

Таким образом, основываясь на последнем уравнении и графике рис. 12,*в*, можно, как это часто делается в телевидении, размер

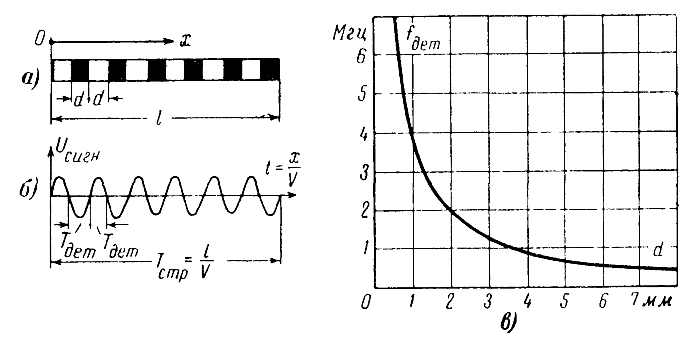


Рис 12 Связь между размерами мелких деталей и полосой частот.

а — расположение мелких деталей на строке; *б* — сигнал, соответствующий мелким деталям; *в* — график зависимости полосы частот от размера мелких деталей; l — длина строки; d — размер детали; V — скорость движения луча; $T_{дет}$ — время передачи одной детали, $T_{стр}$ — время передачи строки.

деталей условно определять не в миллиметрах, а в мегагерцах. Например, очень мелкие детали лежат в диапазоне от 3 до 6 *Мгц*, мелкие детали — от 1 до 3 *Мгц*, средние детали — от 0,5 до 1 *Мгц*.

Теперь возвратимся к указанному выше свойству зрения. Многократные опыты показали, что с уменьшением размеров наблюдаемых цветных деталей их видимая цветовая насыщенность становится меньше Это явление иллюстрируется графиком примерной зависимости видимой насыщенности от условных размеров деталей и их цвета (рис. 13). Из этого графика видно следующее. При уменьшении размеров насыщенных синих деталей (с черными промежутками) их видимая насыщенность быстро падает и при $f_{дет}$= =0,5÷0,6 *Мгц* практически становится равной нулю. Это значит, что на этих частотах мелкие синие детали кажутся светло-серыми на темном фоне. Красные детали дольше сохраняют цветность и только при размерах, соответствующих $f_{дет}$=1,4÷1,6 *Мгц*, также кажутся бесцветными. Зеленые мелкие детали сохраняют видимую цветность практически вплоть до верхней границы телевизионного спектра

Подобное явление потери цветного зрения на мелких деталях связано с различной спектральной чувствительностью глаза (см. рис. 9), наибольшей в зеленом цвете, средней — в красном и малой — в синем.

Следует отметить также, что кроме потери видимой насыщенности, мелкие цветные детали теряют свою различимость. Так, синие детали с условными размерами выше 0,6—0,8 *Мгц* сливаются в сплошной серый фон. Красные детали видны как отдельные

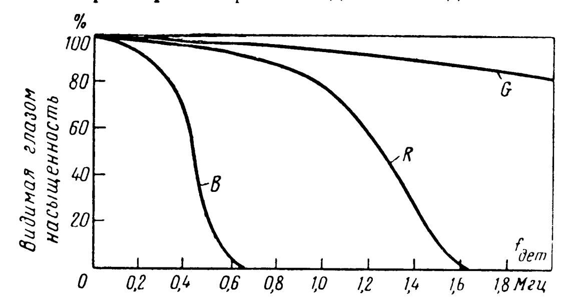


Рис 13. График зависимости видимой насыщенности от размеров деталей и их цвета.

(в бесцветном виде) до 1,6—1,8 *Мгц*. И только для зеленых деталей разрешающая способность глаза максимальна.

Описанное свойство глаза позволяет значительно ограничить общую полосу частот сигнала системы цветного телевидения. В самом деле, нет необходимости во всех трех каналах цветности (рис. 5,*а*) передавать полный спектр частот $F_R = R_G = F_B = F = 6$ *Мгц*. Основываясь на графике рис. 13, включив соответствующие фильтры в блок-схему рис. 5, можно принять $F_B = 0{,}5$ *Мгц*; $F_R = 1{,}5$ *Мгц*; $F_G = 6$ *Мгц*. Учитывая две защитные полосы $2\Delta F = 1$ *Мгц* (рис. 6), получаем в этом случае:

$$F'_{\text{полн}} = F_B + F_R + F_G + 2\Delta F = 0{,}5 + 1{,}5 + 6 + 1 = 9 \text{ Мгц},$$

т. е. выигрыш в полосе частот составит:

$$\frac{F_{\text{полн}}}{F'_{\text{полн}}} = \frac{20}{9} = 2{,}2 \text{ раза}.$$

Уплотнение телевизионного спектра

Хотя ограничение спектров «синего» и «красного» сигналов дает выигрыш более чем в 2 раза, однако полная полоса частот $F'_{\text{полн}} = 9$ *Мгц* оказывается еще чрезмерной, не укладывающейся в рамки совместимости. Дальнейшая возможность сокращения этой полосы основывается на специфической особенности телевизионного спектра — его линейчастости. Это свойство спектра заключается в том, что во всем диапазоне частот составляющие спектра не заполняют всю ось частот, а группируются вокруг гармоник частот строк и кадров (рис. 14,*а*) [1]. Таким образом, представляется возможность

[1] На рис. 14,*а* число гармонических составляющих $f_к$, $2f_к$, ..., $nf_к$, ..., $f_{стр} = 625 f_к$ и т. д. условно уменьшено.

в промежутках между гармониками спектра... $nf_к$, $(n+1)f_к$... яркостного сигнала E_Y поместить спектр сигналов цветности E_B и E_R и тем самым уплотнить полный спектр сигналов цветного телевидения.

Линейчатость телевизионного спектра легко поясняется на примере неподвижного изображения (например, телевизионной испытательной таблицы). Каким бы сложным ни был в этом случае сигнал, он будет периодически повторяться с частотой кадров $f_к=25$ *гц*.

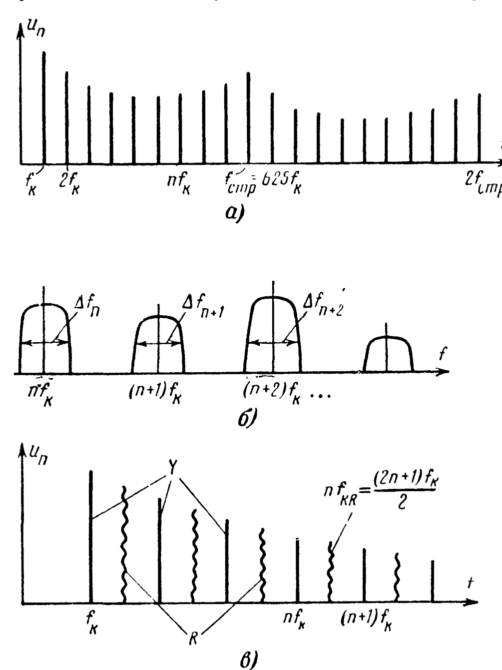


Рис. 14. Форма спектра телевизионного сигнала.

а — линейчатый характер спектра; *б* — участок спектра при движущемся изображении; *в* — способ уплотнения спектра.

Таким образом, сигнал, как и всякая периодическая функция, может быть представлен суммой гармоник (ряд Фурье). В нашем случае частоты гармоник составят $f_1=f_к$, $f_2=2f_к$, ..., $f_n=nf_к$ ...

Промежутки между гармониками будут незанятыми. Частота строк (и ее гармоники) также будет гармоникой частоты кадров.

$$f_{стр}=15\,625\ гц,\ f_к=25\ гц;$$

$$f_{стр}=\frac{15\,625}{25}f_к=625f_к.$$

Наличие в телевизионном сигнале строчных гасящих и синхронизирующих импульсов увеличивает интенсивность гармоник спектра телевизионных частот, кратных строчной частоте.

Для движущихся изображений спектр не будет чисто линейчатым, в этом случае каждая гармоническая составляющая приобретает свои нижнюю и верхнюю боковые полосы частот (рис. 14,*б*). Ширина спектра этих боковых Δf_n будет тем больше, чем больше скорость движения деталей передаваемого изображения.

Однако и в этом случае свободные промежутки в спектре оказываются относительно большими, позволяющими поместить в них цветовую информацию.

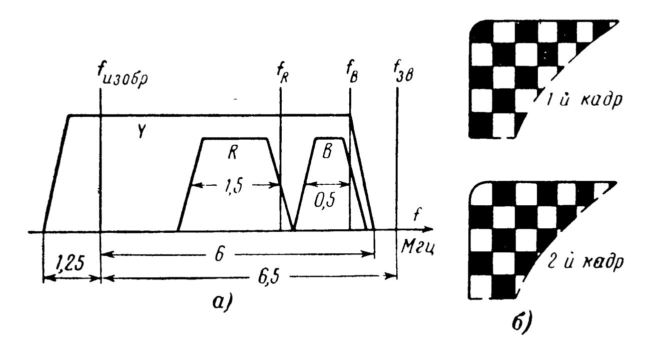


Рис. 15. Уплотнение спектра сигнала яркости сигналами цветности

а — совмещенный спектр частот трех сигналов; *б* — компенсация гармоник сигнала цветности в зрительном восприятии.

Спектр сигналов цветности E_R и E_B, получаемых с выхода видеоусилителей (рис. 5,*а*), имеет также линейчатый характер, так как эти сигналы создаются теми же передающими трубками и развертками, что и яркостный сигнал E_Y. Это обстоятельство дает возможность с целью уплотнения осуществить «переплетение» спектров сигнала яркости и сигналов цветности.

Для пояснения сказанного возьмем сначала только один сигнал цветности, например E_R. На рис. 14,*в* в упрощенном виде показано взаимное положение гармоник сигнала яркости (отрезки прямых) и сигнала цветности (волнистые линии). Для того чтобы составляющие сигнала цветности попадали между гармониками яркостного сигнала, нужно чтобы их частоты были средним арифметическим:

$$nf_{кR} = \frac{(n+1)f_к + nf_к}{2} = \frac{(2+1)f_к}{2},$$

где $(2n+1)f_к$ — нечетная гармоника кадровой частоты яркостного сигнала. Таким образом, находящаяся в промежутке частота $nf_{кR}$ является нечетной полугармоникой $(2n+1)(f_к/2)$ кадровой частоты.

На рис. 15,*а* представлен один из первоначальных вариантов уплотнения спектра. Спектральные составляющие сигналов цветности помещаются в промежутки составляющих сигнала яркости при помощи двух поднесущих f_R и f_B Для правильного «переплетения»

спектров необходимо, чтобы поднесущие f_R и f_B были нечетными полугармониками кадровой (или, что то же самое, строчной) частоты. Тогда и любая гармоника сигналов цветности также будет нечетной полугармоникой.

Как показано на рис. 15,*а*, спектры сигналов Y и B для экономии полосы частот передаются на одной боковой.

Сигнал совместимой системы цветного телевидения, спектр которого подобен указанному на рис. 15,*а*, может быть принят обычным черно-белым телевизором, на экране которого будет воспроизведено изображение в черно-белом виде. Сигналы цветности R и B, находящиеся внутри спектра яркостного сигнала, в принципе не должны быть видны на экране кинескопа. Поясним сказанное простым примером. Предположим, что сигнал цветности состоит только из одной синусоиды

$$f_R = \frac{(2n+1) f_к}{2}.$$

Подсчитаем, сколько периодов этой синусоиды уложится на полном кадре, т е. на двух полукадрах при чересстрочной развертке. Период этой синусоиды определяется выражением

$$T_R = \frac{1}{f_R} = \frac{2}{(2n+1) f_к}.$$

Период кадровой частоты $T_к = 1/f_к$, откуда

$$\frac{T_к}{T_R} = \frac{2n+1}{2} = n + \frac{1}{2},$$

т. е. на всем изображении расположится целое число периодов n плюс еще полпериода 1/2. Наличие этого полпериода приведет к тому, что от кадра к кадру синусоида f_R будет на изображении менять фазу на 180° (рис. 15,*б*), т. е. ее положительные полуволны, соответствующие белому, будут заменяться в следующем кадре отрицательными, соответствующими черному. Таким образом, в зрительном восприятии произойдет компенсация помехи.

При наличии более сложных сигналов цветности, содержащих множество полугармоник кадровой (или, что то же самое, строчной) частоты, на экране черно-белого кинескопа будет появляться дополнительное ложное изображение, которое, однако, от кадра к кадру будет то в негативе, то в позитиве, т. е. будет скомпенсировано в зрительной памяти за время передачи двух полных кадров.

Следует отметить, что частота мелькания такого ложного изображения $f_{л\,и}$ оказывается намного меньше критической частоты мельканий $F_{кр}$, составляющей для крупных деталей около 50 *гц*:

$$f_{л.и} = \frac{f_к}{2} = \frac{25}{2} = 12{,}5 \text{ гц} < F_{кр}.$$

Заметность мелькания зависит от размеров мелькающего объекта, и она тем слабее, чем меньше размеры объекта. Поэтому для сведения к минимуму мелькания спектры сигналов R и B на рис. 15,*а* помещаются как можно плотнее к верхней границе спектра сигнала Y. При этом мелькающие ложные изображения R и B будут

состоять только из мелких деталей, что резко снизит заметность мелькания. Но и в этом случае помеха в виде мерцающих мелких точек все же видна на экране и вызывает определенное неудобство для радиозрителя. Особенно заметна такая мелкоструктурная помеха от поднесущей, так как, если не принимать специальных мер, ее амплитуда существенно больше всех других составляющих сигнала цветности.

Цветоразностные сигналы цветности

Для уменьшения мешающего действия сигналов цветности на изображение в современных совместимых системах цветного телевидения вместо сигналов E_B и E_R используются так называемые цветоразностные сигналы $E_B—E_Y$ и $E_R—E_Y$. Эти сигналы создаются в соответствующих матрицах передающего устройства путем вычитания из соответствующего сигнала цветности сигнала яркости.

Главной особенностью цветоразностных сигналов является то, что на бесцветных белых и серых местах изображения они равны нулю: $E_R=E_B=E_G=E_Y$, т. е. $E_B—E_Y=0$ и $E_R=E_Y=0$.

При малых насыщенностях, т. е. слабой окраске, цветоразностные сигналы также малы и поэтому не создают заметных помех. Например, яркостный сигнал бледно-розового участка $E_{Y\text{полн}}$ можно представить суммой «белого» яркостного сигнала E_Y и добавочного «красного» яркостного сигнала $0{,}3E_{R\text{доб}}$:

$$E_{Y\text{полн}}=E_Y+0{,}3E_{R\text{доб}}.$$

На основании формул (1) и (2) получаем в этом случае:

$$E_{R\text{полн}}—E_{Y\text{полн}}=0{,}7E_{R\text{доб}};$$

$$(E_{R\text{полн}}=E_R+E_{R\text{доб}});$$

$$E_R=E_{Y\ \text{полн}}=—0{,}3E_{R\text{доб}}.$$

Так как $E_{R\text{доб}} \leqslant E_{R\text{полн}}$ (слабая окраска), амплитуда цветоразностных сигналов оказывается малой.

В случае же использования сигналов цветности E_R и E_B эти сигналы на белых и слабо насыщенных местах изображения равны сигналу яркости $E_R=E_B=E_Y$ и создаваемая ими помеха на этих участках будет сильно заметна. Существенно, что в цветном телевидении, вероятно, более половины участков и целых изображений оказываются все же черно-белыми и поэтому использование цветоразностных сигналов цветности в целом существенно снижает влияние этих специфических помех. Кроме того, использование цветоразностных сигналов позволяет избежать перемодуляции передатчика, что в свою очередь позволяет использовать для передачи цветного телевидения существующие черно-белые передатчики.

Совместимая система цветного телевидения NTSC

Структура спектра цветного телевидения, показанная на рис. 15,*а*, имеет следующие существенные недостатки. Во-первых, левые (нижние) составляющие сигнала цветности *R* подходят слишком близко к низкочастотным составляющим сигнала яркости *Y* и создаваемые ими мелькающие помехи будут нетерпимыми. Во-вто-

рых, наличие двух поднесущих f_R и f_B создает на изображении множество интерференционных помех, являющихся следствием биений между f_R, f_B, f_Y и $f_{зв}$ и их гармониками. Число и интенсивность таких помех резко снижаются, если для обоих сигналов цветности используется только одна поднесущая.

Рис. 16. Спектр телевизионного сигнала системы NTSC (США).

I и *Q* — цветоразностные сигналы.

В американской системе NTSC для обоих цветоразностных сигналов используется только одна поднесущая (рис. 16). Для возможности разделения на месте приема цветоразностных сигналов, передаваемых на одной поднесущей, в передающем устройстве системы NTSC используется квадратурная модуляция, сущность которой заключается в следующем (рис. 17). Оба сигнала цветности $E_R—E_Y$ и $E_B—E_Y$ модулируют одну и ту же поднесущую, получаемую от задающего кварцевого гетеродина. Фазы этой поднесущей, подаваемой на модуляторы *R—Y* и *B—Y*, сдвинуты на 90°.

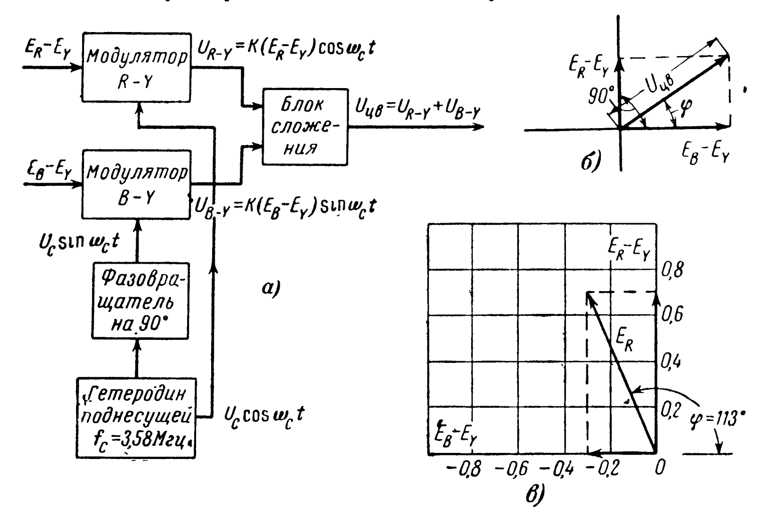


Рис. 17. Квадратурная модуляция

а — блок-схема; *б* — образование вектора цветности; *в* — длина и фаза вектора насыщенного красного цвета.

Модуляторы *R—Y* и *B—Y* имеют балансную схему. Это значит, что их выходные напряжения пропорциональны произведениям входных напряжений, а поднесущая отсутствует (подавлена). Этим устраняется мешающее действие цветовой поднесущей на изображение.

В блоке сложения оба цветоразностных сигнала, теперь уже помещенные на поднесущую, линейно складываются, образуя полный сигнал цветности:

$$u_{цв} = u_{R-Y} + u_{B-Y} = K(E_R - E_Y)\cos\omega_c t +$$
$$+ K(E_B - E_Y)\sin\omega_c t.$$

Наглядное представление о полном сигнале цветности дает векторная диаграмма (рис. 17,*б*). В зависимости от окраски передаваемого в данный момент участка изображения цветоразностные сигналы независимо меняются по амплитуде, но остаются сдвинутыми по фазе на 90°. Соответственно их суммарный вектор $\mathbf{u}_{цв}$ меняется как по величине $U_{цв}$, так и по фазе φ.

Для лучшего представления о векторной цветовой плоскости определим значения цветоразностных сигналов для некоторых характерных цветов: красного, желтого, зеленого, сине-зеленого и пурпурного. Например, для красного

$$E_R = 1\ \textit{в},\ E_B = 0,\ E_G = 0;$$

$$E_{Y\,кр} = 0{,}11E_B + 0{,}59E_G + 0{,}30E_R = 0{,}30E_R = 0{,}3\ \textit{в};$$

$$E_B - E_Y = 0 - 0{,}3 = -0{,}3\ \textit{в};$$

$$E_R - E_Y = 1 - 0{,}3 = 0{,}7\ \textit{в}.$$

Соответствующая красному цвету векторная диаграмма изображена на рис. 17,*в*.

Цвета	E_R	E_B	E_G	E_Y	$E_R - E_Y$	$E_B - E_Y$	φ
Красный	1	0	0	0,3	0,7	—0,3	113°
Желтый	1	0	1	0,89	0,11	—0,89	173°
Зеленый	0	0	1	0,59	—0,59	—0,59	225°
Сине-зеленый	0	1	1	0,7	—0,7	—0,3	293°
Синий	0	1	0	0,11	—0,11	0,89	353°
Пурпурный	1	1	0	0,41	0,59	0,59	45°

В таблице даны E_R, E_B, E_G, а также сигнал яркости и соответствующие цветоразностные сигналы для указанных выше цветов, рассчитанные так же, как и в приведенном примере. Там же указаны фазовые сдвиги φ вектора цветности $\mathbf{u}_{цв}$ относительно вектора $\mathbf{E}_B - \mathbf{E}_Y$, направление которого условно принято за нулевое.

На рис. 18 показаны положения и относительные размеры вектора полного сигнала цветности $\mathbf{u}_{цв}$ для всех случаев таблицы.

Для белого цвета оба цветоразностных сигнала равны нулю, т. е. точка белого на векторной диаграмме находится в начале координат *0*.

Длина вектора $\mathbf{U}_{цв}$ определяет цветовую насыщенность. Это можно показать на примере, приведенном на стр. 28. Коэффициенты перед цветоразностными сигналами в этом примере (0,7 и —0,3) те же, что и для насыщенного красного цвета (см. таблицу). Таким образом, угол φ в обоих случаях сохраняется, а длина вектора

$U_{цв}$ уменьшается с уменьшением насыщенности (точка A на рис 18)

Из вышеизложенного следует, что положение вектора (фазовый сдвиг φ) определяет цветовой тон, а длина этого вектора $U_{цв}$ определяет насыщенность. Другими словами, полный сигнал цветности имеет одновременно амплитудную (насыщенность) и фазовую (цветовой тон) модуляцию.

В цветных телевизионных приемниках системы NTSC имеется устройство для обратного разделения полного сигнала цветности на два цветоразностных сигнала Работа этого устройства, называемого

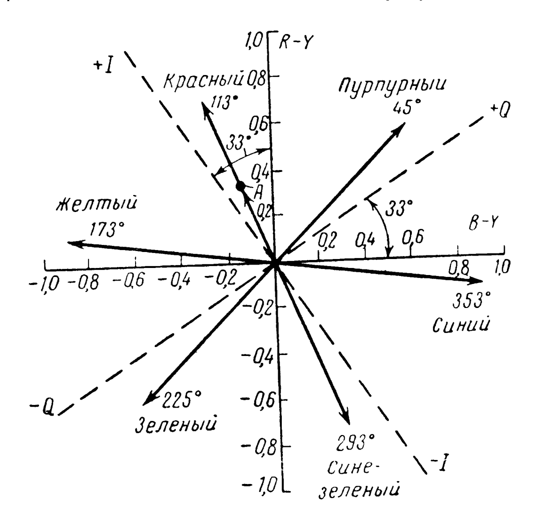


Рис. 18. Положения вектора цветности различных цветов.

синхронным детектором, иллюстрируется блок-схемой рис. 19. Синхронные детекторы $R—Y$ и $B—Y$ по принципу действия являются такими же балансными модуляторами, как и в передающем устройстве (рис. 17,*а*). Их выходное напряжение должно быть пропорционально произведению двух входных напряжений.

На первые входы синхронных детекторов одновременно подается полный сигнал цветности. На вторые входы — синусоидальное напряжение от местного гетеродина. Относительный сдвиг фазы этого напряжения на входах детекторов также составляет 90°.

Для примера рассмотрим работу синхронного детектора $R—Y$. Произведение двух входных напряжений имеет следующий вид:

$$u_{вых(R-Y)}=u_{цв}U'_c \cos\omega_c t=kU'_c(E_R-E_Y)\cos\omega_c t\cos\omega_c t+$$

$$+kU'_c(E_B-E_Y)\sin\omega_c t\cos\omega_c t.$$

На основании элементарных формул тригонометрии

$$\cos\alpha\cos\alpha=\frac{1}{2}(1+\cos 2\alpha);\quad \sin\alpha\cos\alpha=\frac{1}{2}\sin 2\alpha$$

и обозначая $k' = kU'_c/2$, получаем·

$$u_{\text{вых}(R-Y)} = k'(E_R - E_Y) + k'(E_R - E_Y)\cos 2\omega_c t + $$
$$+ k'(E_B - E_Y)\sin 2\omega_c t.$$

Первый член правой части полученного выражения представляет в чистом виде цветоразностный сигнал. Два другие высокочастотные (их поднесущая имеет частоту $2\omega_c$) и легко отфильтровываются фильтром низкой частоты

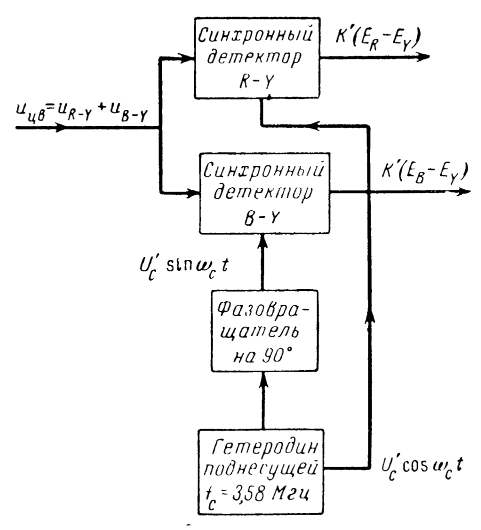


Рис. 19. Блок-схема синхронного детектирования.

Соответственно на выходе детекторов $B-Y$ получаем.

$$u_{\text{вых}(B-Y)} = k'(E_B - E_Y) - k'(E_B - E_Y)\cos 2\omega_c t + $$
$$+ k'(E_R - E_Y)\sin 2\omega_c t.$$

На рис. 20,*а* представлена с некоторым упрощением блок-схема передающего устройства совместимой системы с цветоразностными сигналами цветности и квадратурной модуляцией. Дадим краткое описание этой блок-схемы. Три сигнала от передающих трубок, соответствующие трем цветам, после усиления поступают на кодирующую матрицу, в которой алгебраическим сложением в нужной пропорции создаются три сигнала: сигнал яркости E_Y и два цветоразностных сигнала цветности E_{R-Y} и E_{B-Y}. Сложение основных сигналов E_R, E_G и E_B должно производиться в следующих пропорциях и со следующими знаками:

сигнал яркости $E_Y = 0{,}11E_B + 0{,}59E_G + 0{,}30E_R$;
сигнал $E_R - E_Y = -0{,}11E_B - 0{,}59E_G + 0{,}70E_R$;
сигнал $E_B - E_Y = 0{,}89E_B - 0{,}59E_G - 0{,}30E_R$.

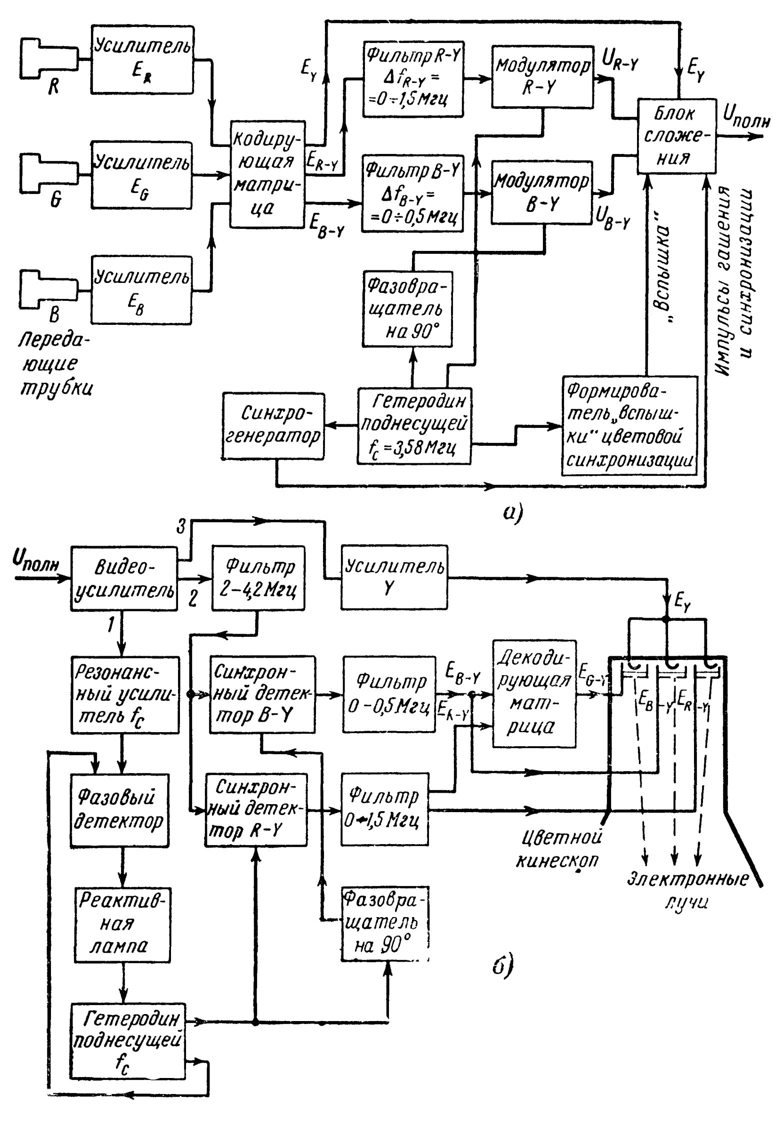


Рис. 20. Блок-схема системы NTSC.
а — передающая часть; *б* — приемная часть

Далее спектры цветоразностных сигналов ограничиваются фильтрами, причем для сигнала $R—Y$ оказывается достаточной полоса 0—1,5 *Мгц*, а для $B—Y$ — 0—0,5 *Мгц* (рис. 13).

Заметим, что более полная блок-схема содержит узлы независимой коррекции формы амплитудных характеристик всех трех каналов, линии задержки, обеспечивающие точное временно́е совпадение сигналов E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y} в блоке сложения и др.

В блоках квадратурной модуляции цветоразностные сигналы помещаются на синусоидальную и косинусоидальную поднесущие (см. рис. 17,*а*).

В блок сложения поступают все сигналы, образующие полный сигнал цветного телевидения. сигнал яркости E_Y, сигналы цветности «в квадратуре» на одной поднесущей E_{R-Y} и E_{B-Y}, сигналы (импульсы) гашения луча и синхронизации разверток и сигнал цветовой синхронизации.

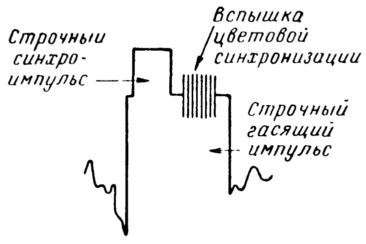


Рис. 21. Строчный гасящий импульс и синхроимпульс со вспышкой цветовой синхронизации.

Для того чтобы поднесущая f_c была нечетной полугармоникой кадровой (строчной) частоты, необходима соответствующая связь через блок деления частоты между задающим гетеродином f_c и синхрогенератором, что и показано на блок-схеме.

Чтобы избежать искажений цветовых тонов принимаемого изображения, фаза колебаний поднесущей во всех синхронных детекторных цветных телевизоров должна быть точно (до 5°) равна фазе поднесущей на передающем устройстве. Для этого в полный телевизионный сигнал во время обратного хода по строкам замешивается «вспышка» колебаний поднесущей (8—10 периодов). Форма такого сигнала цветовой синхронизации показана на рис. 21. Частота и фаза вспышки точно равны частоте и фазе поднесущей в передающем устройстве.

Рассмотрим теперь также кратко блок-схему приемного устройства, показанную на рис. 20,*б*. После усиления на высокой частоте, промежуточной частоте и детектирования (эти узлы не показаны на рис. 20,*б*) сложный видеосигнал цветного телевидения усиливается и одновременно поступает в три блока.

1. Резонансный усилитель, настроенный на частоту поднесущей f_c, выделяет вспышки цветовой синхронизации. В фазовом детекторе происходит сравнение по фазе сигнала «вспышки» и напряжения местного гетеродина. Соответствующее напряжение ошибки с фазового детектора поступает на схему с реактивной лампой, которая и подстраивает местный гетеродин до нужной фазы.

2. Со второго выхода видеоусилителя сигнал через фильтр, имеющий полосу пропускания 2—2,4 *Мгц*, подается на входы синхронных детекторов. Назначение фильтра — подавить напряжение всех частот, лежащих вне спектра цветоразностных сигналов. Этим уменьшается мешающее действие на работу канала цветности значительной части сигнала яркости E_Y. Далее в канале цветности следуют блоки синхронного детектирования, работа которых объяснялась ранее. После ограничивающих фильтров с полосой 0—1,5 *Мгц*

и 0—0,5 *Мгц* цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} подаются на входы декодирующей матрицы. Алгебраическое сложение этих двух сигналов в нужной пропорции создает на выходе матрицы третий цветоразностный сигнал $E_G—E_Y$. Формула, определяющая этот сигнал через два других, имеет вид:

$$E_G - E_Y = -0{,}51(E_R - E_Y) - 0{,}19(E_B - E_Y).$$

3. С третьего выхода видеоусилителя сигнал яркости E_Y поступает на три параллельно соединенных катода цветного кинескопа. В свою очередь три цветоразностных сигнала подаются на соответствующие управляющие электроды В данном случае кинескоп работает как матрица, т. е. между его катодами и управляющими электродами образуются сигналы трех основных цветов:

$$E_1 = (E_R - E_Y) + E_Y = E_R;$$

$$E_2 = (E_G - E_Y) + E_Y = E_G;$$

$$E_3 = (E_B - E_Y) + E_Y = E_B.$$

Впрочем, образование сигналов трех основных цветов можно получить и в трех отдельных простых матрицах.

Кроме блоков, указанных на рис. 20,*б*, в схеме телевизора должны, очевидно, иметься блоки развертки, синхронизации, устройство сведения лучей и др.

Сигналы *I* и *Q*

Для некоторого улучшения качества передачи цветов средних, т. е. не очень мелких, деталей в системе NTSC вместо описанных выше цветоразностных сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} сейчас используются несколько более сложные по структуре, тоже цветоразностные, сигналы, обозначаемые буквами *I* и *Q*:

$$E_I = 0{,}74(E_R - E_Y) - 0{,}27(E_B - E_Y);$$

$$E_Q = 0{,}48(E_R - E_Y) + 0{,}41(E_B - E_Y).$$

Экспериментами установлено, что при уменьшении размеров цветных деталей не только уменьшается их насыщенность, но также несколько изменяется субъективно видимый цветовой тон. Так, мелкие красные и желтые детали кажутся оранжевыми, синие и зеленые при уменьшении размера — сине-зелеными. Для сохранения этого свойства глаза в системе NTSC и выбраны новые цветоразностные сигналы, причем вектор **I** на векторной диаграмме проходит через оранжевую и сине-зеленую область (рис. 18, пунктир) и способен, таким образом, один (без квадратурного вектора **Q**) передать эти цветовые тона мелких деталей. Вместе с перпендикулярным ему вектором цветности **Q** обеспечивается возможность передачи всех цветов на крупных деталях.

Для иллюстрации сказанного обратимся к графику спектра системы NTSC (рис. 16). Из этого рисунка видно, что цвет крупных деталей передается двумя боковыми обоих сигналов цветности 0—0,5 *Мгц* относительно поднесущей $f_c = 3{,}58$ *Мгц*. Однако на более мелких деталях (до границы частот 1,4 *Мгц*) остается только нижняя боковая сигнала *I*, верхняя боковая от 0,5 *Мгц* и выше по-

давлена. Как сказано ранее, один сигнал I способен передавать только оранжевые и дополнительные к ним сине-зеленые цвета. Таким образом, крупные детали до 0,5 *Мгц* передаются во всех трех цветах, более мелкие до 1,4 *Мгц* — только в двух, а еще более мелкие — бесцветными.

Как видно из векторной диаграммы (рис. 18), цветоразностные сигналы I и Q должны иметь фазу, повернутую относительно $R—Y$ и $B—Y$ на 33°. Это достигается введением дополнительного фазовращателя в блоке квадратурной модуляции.

Кодирующие (на передаче) и декодирующие (на приеме) матрицы при использовании сигналов I и Q также заметно усложняются, что сказывается на стоимости и эксплуатационной надежности цветного телевизора. Надо сказать, что качество изображения при использовании сигналов I и Q вместо $R—Y$ и $B—Y$ улучшается незначительно.

Недостатки системы NTSC

Кроме эксплуатационных недостатков, связанных со сложным принципом передачи и разделения сигналов цветности — квадратурной модуляцией и синхронным детектированием, необходимо указать на большую подверженность системы NTSC искажениям типа «дифференциальная фаза» и «дифференциальное усиление». Рассмотрим кратко причины этих искажений.

«Дифференциальная фаза» Во многих звеньях телевизионного тракта — усилителе, модуляторе, передатчике — могут образовываться нелинейные реактивные цепочки. В качестве примера возьмем простую нелинейную RC-цепочку (рис. 22,*а*), у которой выходная емкость конденсатора C постоянна, а активное сопротивление резистора R зависит от приложенного к нему напряжения В реальных случаях такая зависимость может иметь место из-за появления сеточных токов, изменения усиления в каскаде за счет нелинейности характеристик лампы и пр.

Рис. 22. К вопросу об искажениях типа «дифференциальная фаза».

а — нелинейный реактивный элемент; *б* — сигнал для проверки искажений.

При подаче на вход такой цепочки полного сигнала цветного телевидения, работающего на принципе квадратурной модуляции, цветовой тон различных мест изображения будет меняться в зависимости от мгновенного значения сигнала яркости. Пусть, например, сигнал яркости представляет собой ступенчатое напряжение (рис. 22,*б*), на ступеньках которого расположен сигнал цветности (на поднесущей f_c). Сдвиг фаз в нелинейной цепочке RC определяется выражением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega C}{R},$$

и если R зависит от величины u_Y, то и φ будет также зависеть от напряжения сигнала яркости В системе NTSC фазовые соотношения в сигнале цветности несут информацию о цветовом тоне. Таким образом, искажения типа «дифференциальная фаза» ведут к неправильной передаче цветового тона.

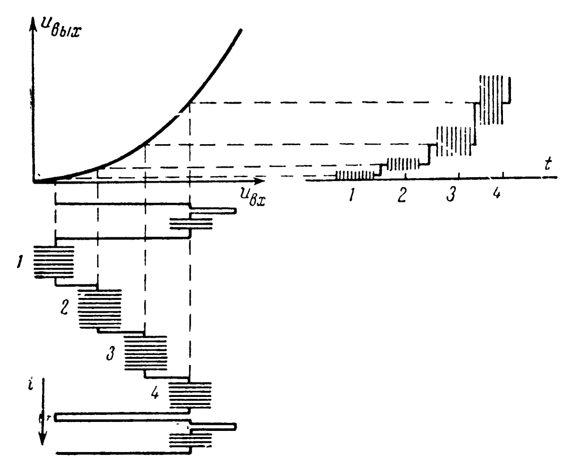


Рис. 23. Искажения типа «дифференциальное усиление».

«Дифференциальное усиление». Многие узлы телевизионной аппаратуры имеют нелинейную амплитудную характеристику $u_{вых} = f(u_{вх})$ (рис. 23). При этом сигналы цветности, расположенные на разных уровнях, получают различное усиление. Так как амплитуда сигнала цветности определяет насыщенность, искажения типа «дифференциальное усиление» приводят к искажениям насыщенности.

Особенности системы PAL

Эта система, разработанная в ФРГ (Phase Alternation Line), в своей основе содержит все идеи американской системы NTSC. Особенность PAL заключается в оригинальном способе устранения фазовых искажений, присущих системе NTSC.

В системе PAL фаза поднесущей одного цветоразностного сигнала I от строки к строке меняется на 180°. Кроме того, в приемниках для сигнала цветности должна иметься линия задержки точно на время одной строки ($T_{стр}=64$ *мксек*). Таким образом, в приемнике будут иметься два сигнала цветности с относительной задержкой на одну строку. Устранение фазовой ошибки $\Delta\varphi$, а следовательно, и искажений цветового тона поясняется на векторных диаграммах рис. 24. Изменение фазы вектора I от строки к строке на 180° приводит к тому, что фазовые ошибки на рис 24,*а*, *б*, одинаковые по величине, имеют разные знаки. Дополнительное изменение полярности вектора I в сигнале цветности на выходе линии задержки и сложение затем двух напряжений напряжения на входе линии

с перевернутым напряжением на ее выходе устраняет, как показано на рис. 24,*в*, ошибку $\Delta\varphi$.

Главным недостатком системы PAL является существенное усложнение телевизионного приемника за счет введения в его схему

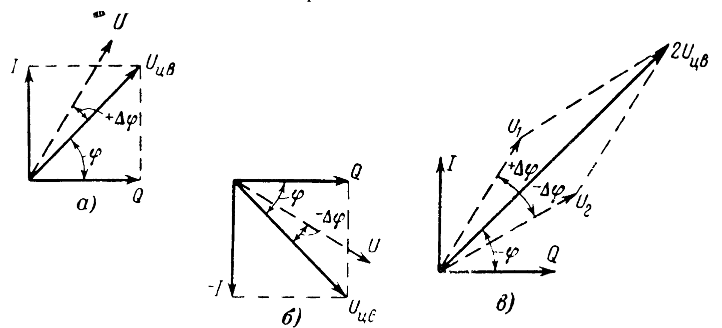


Рис. 24. Компенсация фазовых искажений в системе PAL.

а — векторная диаграмма на входе линии задержки; *б* — на выходе линии задержки; *в* — сумма входного и выходного (перевернутого) векторов.

дополнительных узлов для задержки полного сигнала цветности на время одной строки и периодического изменения фазы цветоразностного сигнала *I*.

Следует также отметить, что искажения типа «дифференциальное усиление» в системе PAL не компенсируются.

СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ SECAM

Особенности последовательно-одновременной системы

В 1958 г. французский инженер Анри де Франс изобрел новую систему, в которой отсутствует основной недостаток NTSC — искажения цветового тона, вызываемые нелинейностью частотных, фазовых и амплитудных характеристик узлов телевизионного тракта.

Для этого было решено отказаться от передачи цветовой информации при помощи фазовой модуляции. Во французской системе информация о цветовом тоне не определяется фазовыми соотношениями сигналов цветности. В первых вариантах (система «Анри де Франс») информация о цветовом тоне передавалась амплитудной модуляцией поднесущей. В более усовершенствованной системе SECAM цветовая информация передается с помощью частотной модуляции поднесущей.

Так же как и в системе NTSC, оба цветоразностных сигнала *R—Y* и *B—Y* передаются на одной поднесущей. Но разделение этих двух сигналов осуществляется не по фазе, а по времени. Таким образом, устраняется еще один существенный эксплуатационный недостаток — из блока цветности телевизора устраняются сложные узлы синхронного детектирования.

Возможность поочередной передачи сигналов цветности основывается на следующем соображении. Как рассматривалось ранее, неразличимость цвета мелких деталей позволяет ограничить полосу частот сигналов цветности примерно до 1,5 *Мгц*. Так как полная полоса частот телевизионного спектра составляет 6 *Мгц* и соответствует передаче наиболее мелких деталей, передаваемых в черно-белом виде яркостным сигналом *Y*, то окрашенные детали будут иметь размер вдоль строки, по крайней мере в 6 *Мгц*/1,5 *Мгц*=4 раза больший, чем самые мелкие детали. Очевидно, что те же причины позволяют увеличить в 3—4 раза размер окрашенных мелких деталей поперек строк.

Это обстоятельство и используется в системе SECAM, как и в первоначальной системе «Анри де Франс». Цветоразностные сигналы передаются поочередно: в течение одной строки — сигнал *R — Y*, в течение следующей — *B — Y* и т. д. Таким образом, цветовая информация как для сигнала *R — Y*, так и для сигнала *B — Y* снимается только с половины строк. При этом предполагается, что в пропущенных строках цветовая информация идентична соседним. Иными словами, для сигналов цветности развертка на полный кадр будет содержать вдвое меньшее количество строк, что приведет к соответствующему увеличению размеров окрашенных мелких деталей по вертикали. Четкость по вертикали при этом не упадет, так как более мелкие детали передаются сигналом яркости *Y* с полным числом строк развертки.

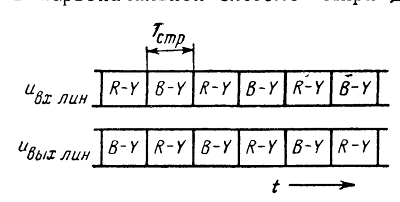


Рис. 25. Цветоразностные сигналы на входе и выходе линии задержки.

В телевизионном приемнике для правильной работы цветного кинескопа необходимо иметь одновременно три цветоразностных сигнала: *R—Y, B—Y* и *G—Y*. Для этой цели в телевизоре SECAM используется ячейка памяти — линия задержки со временем задержки на одну сторону $\tau_{зад}=T_{стр}=64$ *мксек* При воспроизведении цветного изображения каждый сигнал цветности используется дважды· один раз он берется со входа линии задержки, другой раз — с ее выхода. Сказанное поясняет рис 25. Так как сигналы цветности передаются поочередно с интервалом в одну строку, а задержка линии также равна одной строке, сигналы цветности на входе и выходе линии оказываются разными, т. е. если в данный момент на входе имеется сигнал *R—Y*, то на выходе — *B—Y*. Таким образом, линия задержки дает возможность всегда иметь одновременно оба сигнала цветности. В соответствующей матрице, работающей на основе уравнения (11), можно получить третий цветоразностный сигнал *G—Y*.

Обратившись к рис. 25, замечаем, что сигналы *R—Y* и *B—Y* на входе и выходе линии задержки периодически меняются местами. Отсюда возникает необходимость соответствующего переключения обоих входов матрицы с таким расчетом, чтобы на ее первом входе был всегда только сигнал *R—Y*, а на втором — *B—Y*. Для этой цели в телевизоре используется специальный электронный коммутатор.

Принципы работы системы SECAM (или «Анри де Франс») в самом упрощенном виде поясняются блок-схемами, показанными

на рис 26 Так же как и в других системах, в кодирующей матрице передающего устройства (рис. 26,*а*) образуются три сигнала: сигнал яркости E_Y и два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}. При помощи электронного коммутатора, работающего с частотой строк, сигналы цветности по очереди поступают в модулятор поднесущей. В блоке сложения образуется полный сигнал цветного телевидения

В приемнике (рис 26,*б*) цветоразностные сигналы, образующиеся на входе и выходе линии задержки, через электронный коммутатор подаются на два входа декодирующей матрицы, формирующей третий цветоразностный сигнал $G—Y$.

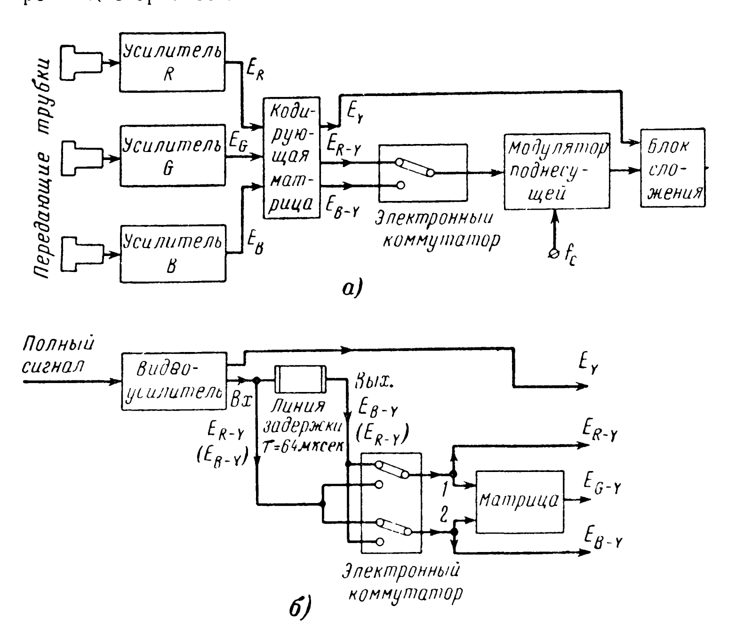


Рис. 26 Упрощенные блок-схемы системы «Анри де Франс»
а — передающая часть, *б* — приемная часть

Таким образом, при поочередной (построчной) передаче сигналов цветности в приемнике в результате использования элемента памяти — линии задержки одновременно образуются три сигнала цветности. Поэтому рассматриваемую систему часто называют последовательно-одновременной (или по-фрацузски SECAM — Sequential á memoire — последовательная с памятью).

Спектр сигналов в системе SECAM показан на рис. 27. Цветовая информация так же, как и в системе NTSC, для уменьшения заметности помех располагается в высокочастотной части спектра сигнала яркости. Для того чтобы уместить цветовую информацию в отведенном для нее участке частотного диапазона, сигналы $R—Y$ и $B—Y$ передаются в сокращенной полосе частот. В отличие от системы NTSC для технического упрощения нижняя и верхняя боковые полосы цветового сигнала имеют одинаковую ширину

Одним из главных недостатков старой системы «Анри де Франс» с амплитудной модуляцией поднесущей была неудовлетворительная совместимость с системой черно-белого телевидения. При приеме сигналов по этой системе на экране обычного телевизионного приемника возникали перемещающиеся сверху вниз горизонтальные полосы. Появление этих помех объясняется действием напряжения поднесущей частоты, модулированной сигналами цветности. Как уже отмечалось, сигналы $R—Y$ и $B—Y$ передаются поочередно в течение времени развертки двух смежных строк изображения. Так как в старой системе «Анри де Франс» применялась амплитудная модуляция, уровень помехи в канале сигнала Y, зависящий от величин сигналов

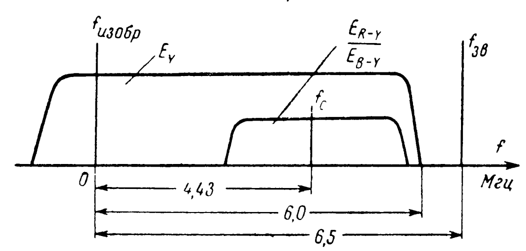


Рис. 27. Спектр сигналов системы SECAM («Анри де Франс»).

$R—Y$ и $B—Y$, был разным на разных строках изображения. Амплитудная характеристика приемной трубки нелинейна. Поэтому, когда сигнал поднесущей вместе с яркостным сигналом поступает на управляющий электрод приемной трубки, происходит детектирование амплитудно-модулированного сигнала, вызывающее дополнительную подсветку. Поскольку сигналы, модулирующие цветовую поднесущую, меняются от строки к строке, то будет изменяться и постоянная составляющая, вызванная дополнительной подсветкой экрана, возникающей в результате детектирования. Для уменьшения заметности горизонтальных полос, возникающих на изображении в системе «Анри де Франс» размах амплитуды поднесущей выбирался равным 50% от размаха яркостного сигнала. По этой причине помехоустойчивость системы «Анри де Франс» оказалась весьма низкой. Однако даже при уменьшении амплитуды напряжения поднесущей частоты помехи на экранах черно-белых приемников оставались сильно заметными.

Кроме того, амплитудно-частотные искажения и искажения типа «дифференциальное усиление» вызывают в системе «Анри де Франс» искажения как цветового тона, так и насыщенности.

Для устранения отмеченных недостатков Анри де Франс в 1959 г. предложил применить для передачи цветовых сигналов частотную модуляцию поднесущей. В этой усовершенствованной системе так же, как и в более ранней, цветовые сигналы модулируют поднесущую поочередно от строки к строке. Поэтому в приемнике новой системы тоже необходимо запоминающее устройство. Система цветного телевидения с частотной модуляцией была разработана фирмой CSF (Communication Sans Fil — связь без проводов) во Франции в 1960 г. Эта система получила название SECAM.

Введение частотной модуляции позволило значительно улучшить параметры последовательно-одновременной системы.

Улучшилась совместимость с системой черно-белого телевидения, так как при применении частотной модуляции амплитуда частотно-модулируемого сигнала одинакова для всех строк изображения и паразитной подсветки не создается.

Частотная модуляция поднесущей устранила искажения цветового тона и насыщенности, которые вызывались нелинейностью частотных и фазовых характеристик телевизионного тракта.

Спектр сигналов, излучаемых в эфир в системе SECAM, имеет тот же вид, что и в системе «Анри де Франс» (см. рис. 27). При этом следует напомнить, что поднесущая модулируется сигналами цветности по частоте.

Параметры системы SECAM

Система SECAM совместима с системой черно-белого телевидения. Поэтому ее основные параметры соответствуют параметрам стандартной системы черно-белого телевидения: число строк 625, частота полукадров 50 *гц*, разнос несущих изображения и звука 6,5 *Мгц*. Формирование цветовых сигналов *R*, *G* и *B*, выбор координат первичных цветов и опорного белого цвета осуществляются так же, как и в системе NTSC, т. е. яркостный сигнал определяется из уравнения

$$E_Y = 0{,}11\,E_B + 0{,}59 E_G + 0{,}30\,E_R,$$

а цветоразностные сигнала — из уравнений

$$E_{R-Y} = 0{,}7\,E_R - 0{,}59\,E_G - 0{,}11\,E_B;$$

$$E_{Y-B} = 0{,}30\,E_R + 0{,}59\,E_G - 0{,}89\,E_B.$$

Как видно из последнего выражения, в системе SECAM в отличие от системы «Анри де Франс» вместо сигнала E_{B-Y} передается сигнал E_{Y-B}. Такой выбор объясняется следующим образом.

В системе SECAM, так же как и в NTSC, цветовые сигналы образуют на экране черно-белого приемника помеху в виде мелкоструктурной сетки. Получить компенсацию этой помехи выбором частоты поднесущей, равной нечетной гармонике полустрочной частоты, не представляется возможным, так как в системе SECAM вследствие использования частотной модуляции частота поднесущей непостоянна. Устранение заметности цветовых сигналов на экране приемника осуществляется за счет периодического изменения фазы поднесущей частоты на 180° через две строки с помощью специального коммутатора. При такой коммутации фазы напряжения поднесущей в двух смежных кадрах оказываются противоположными и происходит компенсация помехи. В связи с применением такого способа компенсации помехи и для упрощения кодирующего устройства номинальная частота поднесущей в системе SECAM в отличие от NTSC выбирается целой кратной частоте строчной развертки $284\,f_{стр} = 4{,}4375$ *Мгц*.

Однако при таком выборе поднесущей частоты и при коммутации фазы компенсация сигналов цветности на эране черно-белого приемника не является полной. Действительно, для того чтобы произошла компенсация сигнала цветности, необходимо чтобы этот сигнал был одинаков по частоте для двух смежных кадров. Это усло-

вие не выполняется, так как в системе SECAM сигналы цветности чередуются от строки к строке, и если, например, в течение первой строки первого кадра передается один цветоразностный сигнал, то в течение времени передачи той же строки следующего кадра передается другой цветоразностный сигнал. Для того, чтобы компенсация была более полной, необходимо, чтобы сигналы были по возможности идентичными, хотя бы для наиболее часто встречающихся цветов. Для рассмотрения этого вопроса обратимся к векторной диаграмме рис. 18. Практика показывает, что наиболее часто встречающимися являются цвета, лежащие в левом верхнем и правом нижнем квадрантах диаграммы, т. е. цвета красный, оранжевый, желтый и дополнительные к ним сине-зеленые оттенки. Для этих цветов один из цветоразностных сигналов будет иметь отрицательную полярность.

Так как в SECAM применяется частотная модуляция, то при сигнале положительной полярности частота поднесущей станет выше номинальной, а при отрицательном сигнале — ниже номинальной. Таким образом, частоты поднесущей при передаче одного и того же участка изображения в двух смежных кадрах будут различны и компенсации помехи за счет изменения фазы на 180° не произойдет.

Для уменьшения видимости помехи на указанных цветах в системе SECAM принято передавать вместо сигнала E_{B-Y} сигнал E_{Y-B} который отличается от предыдущего только полярностью. При этом полярность цветоразностных сигналов для наиболее часто встречающихся цветов получается одинаковой, компенсация за счет покадрового изменения фазы поднесущей на 180° — более полной и помеха от сигнала цветности менее заметной.

Ширина спектра цветовых сигналов, модулирующих цветовую поднесущую по частоте, зависит от индекса частотной модуляции $m=\Delta F/F_{\text{макс}}$, который определяется отношением частотной девиации ΔF (отклонение частоты от номинальной) к максимальной частоте сигналов цветности $F_{\text{макс}}$. В системе SECAM максимальная частота передаваемых сигналов цветности $\Delta F=230$ *кгц*. С точки зрения увеличения помехоустойчивости канала цветности желательно увеличивать индекс частотной модуляции m. Однако увеличение индекса частотной модуляции приводит к расширению полосы частот канала цветности и к увеличению заметности помех от сигнала цветности на экране черно-белого приемника. Поэтому в системе SECAM индекс частотной модуляции меньше единицы. Для уменьшения уровня помех амплитуда сигналов частотно-модулированной поднесущей выбирается не более 15—20% от размаха сигнала яркости. При таком уровне сигнала цветовой поднесущей и малом индексе частотной модуляции помехоустойчивость системы SECAM оказывается несколько ниже помехоустойчивости системы NTSC.

Предыскажения цветовых сигналов

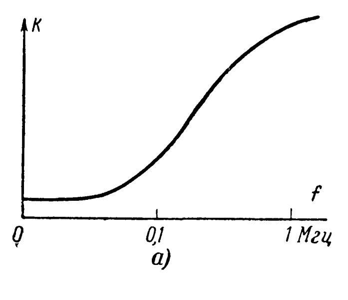
Для улучшения совместимости и увеличения помехоустойчивости в системе SECAM осуществляется предыскажение цветовых сигналов. Цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}, которые модулируют цветовую поднесущую, подвергаются предыскажению с помощью схемы, коэффициент усиления которой увеличивается с повышением частоты. Частотная характеристика этой схемы имеет вид, показанный на рис 28,*а* Предыскажение увеличивает в несколько раз размах высокочастотных компонент сигнала цветности по сравнению

с низкочастотными. В связи с этим частотная девиация при передаче мелких деталей изображения в системе SECAM увеличивается до $\Delta f_{\text{макс}}=500$ *кгц*.

Частотные предыскажения позволяют улучшить помехоустойчивость системы. При частотной модуляции величина помехи, попадающей в канал цветности, зависит от частоты помехи. Если частота помехи точно равна номинальной частоте поднесущей f_c, то помеха вызывает лишь паразитную амплитудную модуляцию, которая устраняется ограничителем в приемнике. При отличии частоты помехи от номинальной частоты поднесущей помеха вызывает паразитную частотную модуляцию. Теория показывает, что величина паразитной частотной девиации, вызываемой синусоидальной помехой, определяется следующим выражением:

$$f_{\text{д}} = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{подн}}} \Delta F_{\text{п}},$$

где $U_{\text{п}}$ — амплитуда помехи, $U_{\text{подн}}$ — амплитуда поднесущей, $\Delta F_{\text{п}}$ — отклонение частоты помехи от номинальной частоты поднесущей, $f_{\text{д}}$ — паразитная девиация частоты. Из этого выражения видно, что величина паразитной частотной девиации, а следовательно, и амплитуда помехи на выходе частотного детектора приемника прямо пропорциональны величине $\Delta F_{\text{п}}$, т. е. чем больше отличается частота помехи от номинальной частоты поднесущей, тем хуже помехоустойчивость системы с частотной модуляцией.



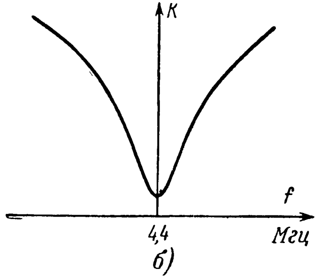


Рис. 28. Частотные предыскажения в передающей части системы SECAM.

а — подъем высоких частот сигналов цветности; *б* — частичное подавление поднесущей

Для улучшения помехоустойчивости при передаче сигналов цветности в системе SECAM применяются частотные предыскажения (рис. 28,*а*), которые увеличивают размах сигнала высокочастотных компонент и тем самым улучшают отношение сигнал/помеха в канале цветности при относительно больших $\Delta F_{\text{п}}$.

После частотной модуляции поднесущей сигналы цветности подвергаются дополнительной обработке. Обработка модулированного по частоте сигнала цветности заключается в том, что этот сигнал проходит через схему, подавляющую частоты, близкие к номинальной частоте поднесущей (рис. 28,*б*). Как видно из рисунка, амплитуда поднесущей после прохождения через такое предыскажающее устройство подавляется наиболее сильно. Этим предыскажением уменьшается заметность поднесущей на черно-белом совместимом изображении.

Для восстановления неискаженных сигналов цветности в телевизионном приемнике осуществляются обратные частотные преобразо-

вания, восстанавливающие прежний уровень поднесущей и ослабляющие высокочастотные компоненты сигналов цветности.

В системе SECAM имеется еще один вид предыскажений — дополнительная амплитудная модуляция суммарного цветового сигнала, необходимость которой вызвана изменением уровня яркостного сигнала в полосе частот канала цветности. Дело в том, что в приемнике цветного телевидения яркостный видеосигнал по отношению к сигналу цветности является помехой. Энергия яркостного сигнала, приходящаяся на участок частотного диапазона, где передаются сигналы цветности, а следовательно, и величина помехи зависят от характера передаваемого изображения. Предыскажения заключаются в том, что если размах составляющих яркостного сигнала, находящихся в полосе канала цветности, превосходит 70% номинальной амплитуды поднесущей, сигналы цветности временно усиливаются. При этом уменьшается вредное влияние помех яркостного сигнала в канале цветности приемника. Если же сигнал яркости таков, что его энергия в той области частотного спектра, где передаются сигналы цветности, невелика, дополнительная амплитудная модуляция отсутствует. Таким образом, удается добиться улучшения отношения сигнал/шум в канале цветности.

Кодирующее устройство

Полная блок-схема кодирующего устройства изображена на рис. 29,*а*. Сигналы E_R, E_G и E_B поступают на кодирующую матрицу, которая вырабатывает сигналы E_Y, E_{R-Y} и E_{Y-B}. Сигнал E_Y поступает на смеситель синхроимпульсов, где осуществляется замешивание в этот сигнал импульсов синхронизации разверток телевизионного приемника и сигналов опознавания цвета. Сигналы E_{R-Y} и E_{Y-B} поступают на электронный коммутатор, управляемый импульсами прямоугольной формы от генератора коммутирующих импульсов. Этот генератор также синхронизируется строчными синхроимпульсами.

Сигналы E_{R-Y} и E_{Y-B}, чередующиеся последовательно от строки к строке, пропускаются через фильтр нижних частот, где происходит ограничение спектра этих сигналов до 1,5 *Мгц*. С выхода фильтра нижних частот сигнал поступает на блок предыскажений, в котором осуществляется подъем высокочастотных компонент сигналов цветности. Частотная характеристика блока предыскажений показана на рис. 28,*а*. Как уже отмечалось ранее, такое предыскажение позволяет улучшить помехоустойчивость системы SECAM. Сформированный таким образом цветовой сигнал поступает на модулятор поднесущей и модулирует ее по частоте. Частотно-модулированный сигнал через коммутатор фазы поднесущей, в котором для уменьшения заметности помехи на экране осуществляется коммутация фазы через две строки, подается на блок высокочастотных предыскажений, частотная характеристика которого показана на рис. 28,*б*.

Далее цветовой сигнал подвергается дополнительной амплитудной модуляции. Для этого с помощью полосового фильтра из сигнала E_Y выделяются частотные компоненты, лежащие вблизи поднесущей частоты, и детектируются амплитудным детектором. Образующееся напряжение подается на амплитудный модулятор. Как уже отмечалось, с помощью дополнительной амплитудной модуляции цветовой поднесущей удается уменьшить помехи, вызываемые сиг-

налом яркости в канале цветности телевизионного приемника. Смешение сигнала яркости с сигналами цветности осуществляется в блоке сложения. На выходе блока сложения образуется полный видеосигнал.

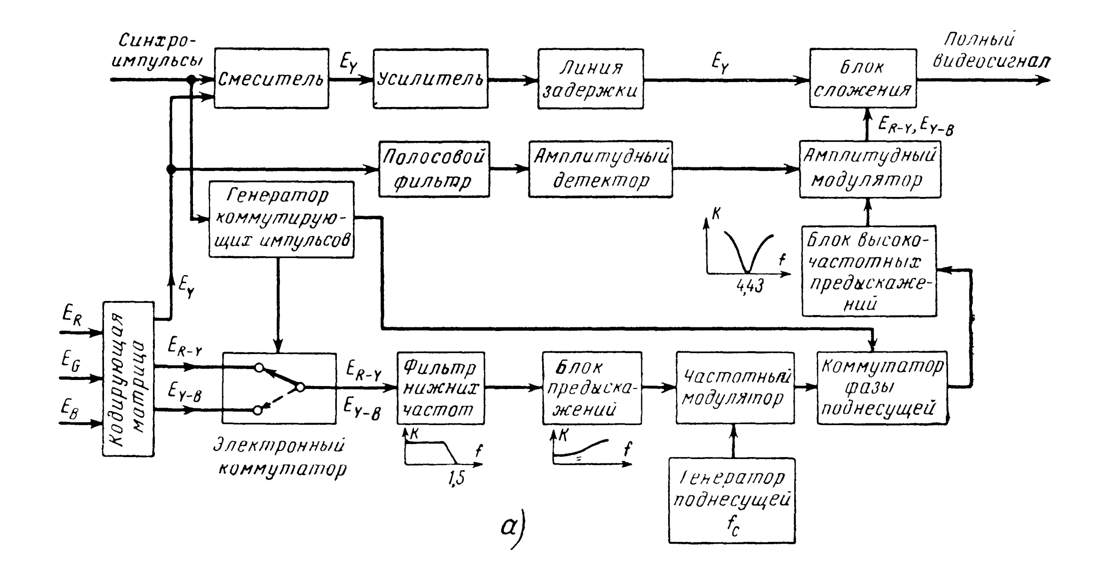
Декодирующее устройство

В декодирующем устройстве цветного телевизора осуществляются обратные преобразования цветовых сигналов. Упрощенная блок-схема декодирующего устройства системы SECAM изображена на рис. 29,*б*. Сигнал с видеодетектора телевизионного приемника поступает на полосовой усилитель. В полосовом усилителе осуществляется отделение частотно-модулированного цветового сигнала на поднесущей частоте от сигнала яркости и коррекция частотных предыскажений цветовой поднесущей. Частотная характеристика корректирующего каскада обратна частотной характеристике предыскажающего каскада и имеет форму колокола (рис. 30,*а*). После усиления выделенного сигнала следующим каскадом полосового усилителя цветовой сигнал поступает на вход линии задержки, время задержки которой равно длительности передачи одной строки изображения, т. е. 64 *мксек*. Электронный коммутатор и линия задержки необходимы для одновременного получения сигналов E_{R-Y} и E_{Y-B} (см. рис. 26,*б*). Таким образом, на выходе *2* электронного коммутатора всегда имеется сигнал E_{R-Y}, а на выходе *1* — сигнал E_{Y-B}. Линия задержки в декодирующем устройстве системы SECAM выполняет роль элемента памяти, с помощью которого один из цветовых сигналов запоминается на время передачи одной строки и воспроизводится при передаче другой строки изображения одновременно с другим цветовым сигналом.

При этом в приемнике имеются одновременно необходимые для работы матрицирующего устройства оба сигнала E_{R-Y} и E_{Y-B}. С выхода электронного коммутатора частотно-модулированные цветовые сигналы E_{R-Y} и E_{Y-B} поступают на частотные детекторы, которые осуществляют детектирование этих сигналов. Наклоны амплитудных характеристик частотных детекторов в каналах *Y—B* и *R—Y* имеют противоположные знаки (рис. 30,*б*). Это значит, что при уменьшении частоты сигналов на входах детекторов на выходе детектора канала *Y—B* образуется отрицательное напряжение, а на выходе канала *R—Y* — положительное напряжение. По этой причине происходит изменение полярности сигнала на выходе частотного детектора канала *Y—B*, т. е. вместо сигнала E_{Y-B} образуется сигнал обратной полярности E_{B-Y}. С выхода частотных детекторов сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} поступают на видеоусилители, в которых осуществляется усиление сигналов и коррекция предыскажений высокочастотных составляющих (рис. 30,*в*). С выхода видеоусилителей цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} поступают на матрицу, которая формирует сигнал E_{G-Y}. Таким образом, на выходе декодирующего устройства имеются три цветовых сигнала.

Для того чтобы сигналы E_{R-Y} и E_{Y-B} попадали в свои каналы, необходимо, чтобы был соблюден порядок переключения коммутатора. Для управления работой электронного коммутатора служат импульсы прямоугольной формы, вырабатываемые в генераторе коммутирующих импульсов

Фаза коммутирующего сигнала должна быть такой, чтобы обеспечивалось правильное восстановление сигналов на выходах *1* и *2*



Синхро-импульсы
Смеситель
E_Y
Усилитель
Линия задержки
E_Y
Блок сложения
Полный видеосигнал
E_{R-Y}, E_{Y-B}
Полосовой фильтр
Амплитудный детектор
Амплитудный модулятор
Генератор коммутирующих импульсов
K
f
4,43
Блок высокочастотных предыскажений
E_Y
E_R
E_G
E_B
Кодирующая матрица
E_{R-Y}
E_{Y-B}
E_{R-Y}
E_{Y-B}
Фильтр нижних частот
Блок предыскажений
Частотный модулятор
Коммутатор фазы поднесущей
Электронный коммутатор
K
f
1,5
K
f
Генератор поднесущей f_c

а)

4—95

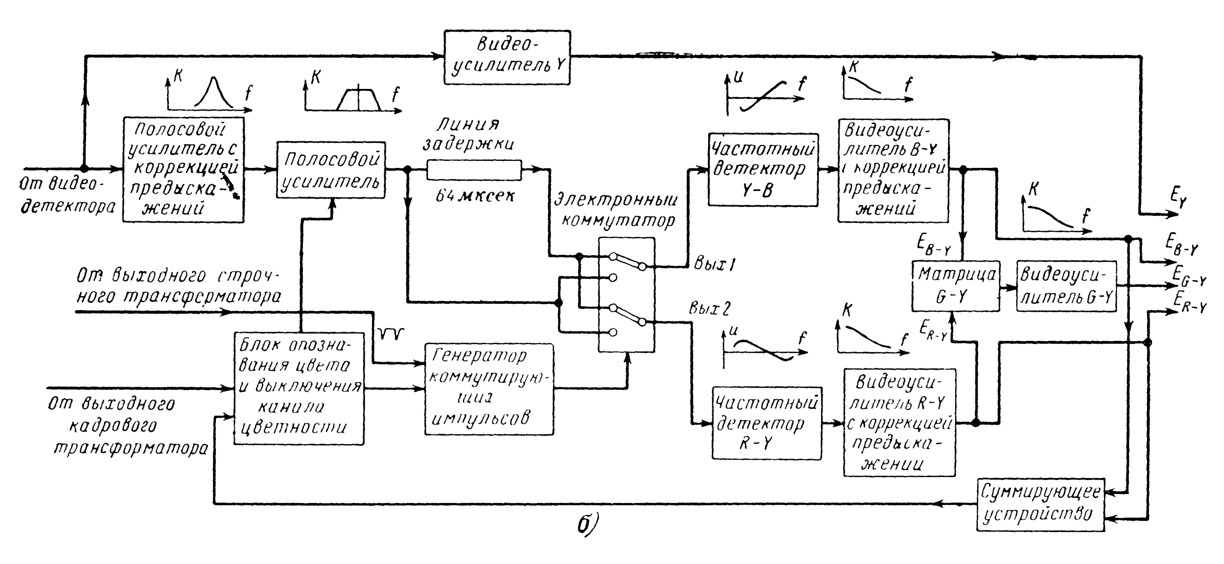


Рис. 29. Блок-схема системы SECAM.

а — передающая часть; *б* — приемная часть.

коммутатора. Для установления нужной фазы коммутирующего сигнала служит схема опознавания цвета. В этой схеме с помощью сигнала, поступающего с выхода суммирующего устройства и кадрового синхронизирующего импульса, определяется цветность приходящего сигнала. Если положение переключателей электронного коммутатора не соответствует приходящим цветовым сигналам, схема

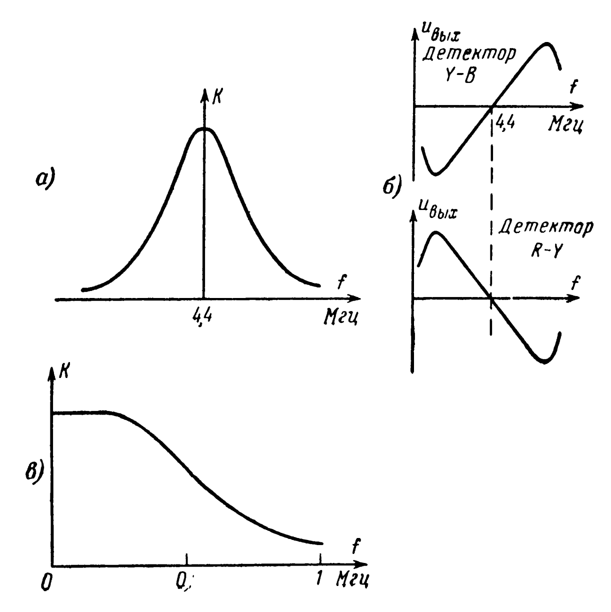


Рис. 30. Частотные характеристики отдельных узлов блок-схемы приемной части.

а — полосового усилителя с коррекцией предыскажений поднесущей; *б* — частотных детекторов; *в* — корректора предыскажений сигналов цветности.

опознавания цвета изменяет фазу коммутирующих импульсов. Эта же схема осуществляет запирание каналов цветности при передаче черно-белых изображений.

Работа коммутатора и схемы цветовой сихронизации

Как уже отмечалось, работа электронного коммутатора в приемнике должна происходить таким образом, чтобы сигналы E_{R-Y} и E_{Y-B} всегда попадали в соответствующие каналы. Для распознавания цветности приходящих сигналов необходимо передавать соответствующую информацию. Сигнал опознавания цвета (сигнал цветовой синхронизации) удобно передавать либо во время обратного хода луча по строке сразу после синхронизирующего импульса, либо во время обратного хода по кадру. Теоретически нет необходимости передавать сигналы цветовой синхронизации в течение всего времени телевизионной передачи. Достаточно один раз в начале

передачи установить правильную фазу работы электронного коммутатора. Однако практически из-за наличия помех, которые могут попасть в канал цветности телевизионного приемника, возможно нарушение правильной фазы работы коммутатора. Поэтому оказывается необходимым регулярно передавать сигналы цветовой синхронизации.

В системе SECAM сигнал цветовой синхронизации передается с частотой полукадров после окончания задних уравнивающих импульсов, следующих после импульса кадровой синхронизации. Сигнал опознавания цвета передается в течение шести строк с 10-й

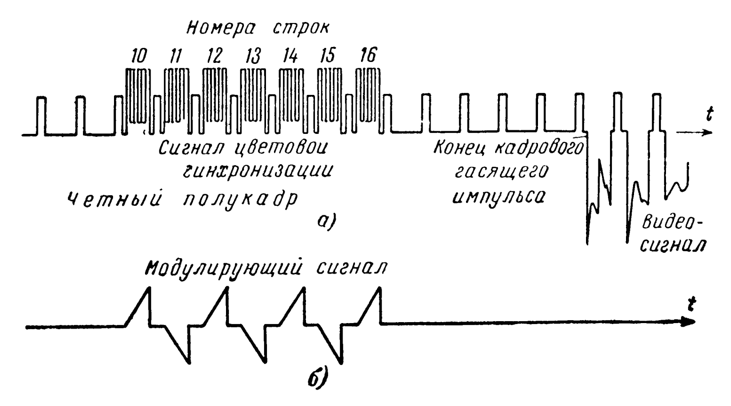


Рис. 31. Образование сигнала цветовой синхронизации.
а — полный сигнал; *б* — модулирующий сигнал.

по 15-ю в четных полукадрах и с 323-й по 328-ю в нечетных полукадрах. Этот сигнал представляет собой поднесущую, промодулированную по частоте импульсами пилообразной формы (рис. 31). Полярность модулирующих импульсов меняется от строки к строке (рис. 31,*б*). Это приведет к тому, что в четных строках 10, 12, 14 (рис. 31,*а*) модуляция вызывает увеличение частоты поднесущей, а в нечетных — 11, 13, 15 уменьшение частоты. Модуляция осуществляется с максимальной девиацией частоты, принятой для передачи цветовых сигналов.

Сигнал опознавания цвета находится в той же области частотного спектра, что и цветоразностные сигналы, поэтому он вместе с цветоразностными сигналами E_{R-Y} и E_{Y-B} выделяется полосовым фильтром и поступает на электронный коммутатор. Электронный коммутатор, переключаясь от строки к строке, «сортирует» сигнал цветовой синхронизации по каналам. Если электронный коммутатор работает в правильной фазе, на частотный детектор $Y—B$ поступают сигналы четных строк 10, 12 и 14, а на частотный детектор $R—Y$ сигнал нечетных строк 11, 13 и 15. Как уже упоминалось выше, наклоны амплитудных характеристик частотных детекторов взаимно обратны (рис. 30,*б*). Вследствие такой особенности работы частотных детекторов сигналы цветовой синхронизации, которые имеют чередующуюся полярность на передающем конце (рис. 31,*б*), на выходах частотных детекторов будут иметь одинаковую полярность (напря-

жения u_1 и u_2 на рис. 32,*а*, *б*). При правильной фазе переключения коммутатора на выходе обоих частотных детекторов сигнал цветовой синхронизации имеет положительную полярность. При неправильной работе электронного коммутатора на вход частотного детектора $Y—B$ поступает сигнал нечетных строк и на вход частотного детектора $R—Y$ — четных. Полярность сигнала цветовой синхронизации меняется на обратную.

Сигналы цветовой синхронизации вместе с цветоразностными сигналами E_{R-Y} и E_{Y-B} поступают на видеоусилители, а с выхода видеоусилителей на суммирующее устройство. В суммирующем устройстве происходит сложение сигналов цветовой синхронизации, поступающих с обоих каналов, и сигнал принимает вид, показанный на рис. 32,*в*. После отделения сигнала цветовой синхронизации от сигналов цветности в схеме опознавания цвета для получения слитного импульса осуществляется интегрирование напряжения. Для этой цели используется обычная интегрирующая *RC*-цепочка. В результате интегрирования образуется сигнал u_4 (рис. 32,*г*). Этот сигнал используется для установления правильной фазы работы электронного коммутатора.

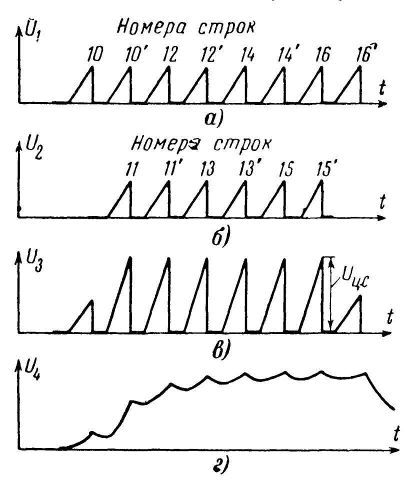


Рис. 32. Форма сигнала цветовой синхронизации.

а — на выходе детектора *Y—B*, *б* — на выходе детектора *R—Y*; *в* — на выходе суммирующего устройства; *г* — после интегрирующей цепочки.

Установка правильной фазы работы электронного коммутатора осуществляется с помощью блока опознавания цвета.

Как отмечалось выше, полярность импульсов цветовой синхронизации меняется в зависимости от того, в правильной или неправильной фазе работает электронный коммутатор. В блок опознавания цвета одновременно поступает импульс цветовой синхронизации, показанный на рис. 32,*г*, и специально сформированный (продифференцированный) импульс от выходного каскада кадровой развертки В этом блоке происходит сравнение полярностей этих импульсов. В зависимости от полярности поступившего сигнала цветовой синхронизации происходит корректировка полярностей импульсов, подаваемых на электронный коммутатор.

Линия задержки

Для получения сигналов E_R, E_G и E_B в телевизионном приемнике необходимо иметь одновременно оба цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{Y-B}. Как уже отмечалось выше, для этой цели в приемнике SECAM применяется линия задержки.

Линия задержки должна обеспечивать задержку цветового сигнала, имеющего полосу частот около 2 *Мгц*, на время, равное $\tau_{зад} = T_{стр} = 64$ *мксек*. Широко используемые линии задержки со средоточенными параметрами, состоящие из катушек индуктивности и конденсаторов, рассчитанные на пропускание таких широкополосных сигналов, удается выполнить на время задержки, практически не превышающее несколько микросекунд. Применение специальных кабелей задержки также нерационально. Например, специальный кабель задержки РКЗ-401 имеет время задержки, равное 0,7 *мксек* на метр длины. Поэтому для получения $\tau_{зад} = 64$ *мксек* потребовалось бы около 80 *м* кабеля, причем весь этот кабель нужно было бы уложить внутри приемника. По этой причине в телевизионных приемниках системы SECAM применяются специальные малогабаритные ультразвуковые линии задержки.

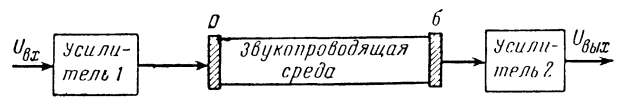
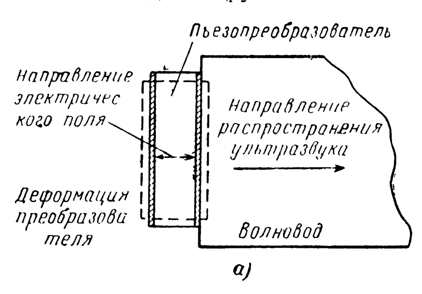


Рис. 33. Схема ультразвуковой линии задержки.

Принцип работы ультразвуковых линий задержки основан на преобразовании электрических сигналов в ультразвуковые на входном конце устройства задержки и обратном преобразовании ультразвуковых сигналов в электрические сигналы на выходном конце. Между входным и выходным устройствами размещается звукопровод. Материалом звукопровода могут служить как твердые тела (сталь, кварц), так и жидкости (вода, ртуть). Линии задержки, в которых в качестве звукопровода используются жидкости, менее удобны как в конструктивном отношении, так и в эксплуатации. Однако в связи с тем, что скорость распространения ультразвуковых колебаний в жидкой среде в несколько раз ниже, чем в твердой, линии задержки с жидкостным звукопроводом используются для получения больших задержек (порядка нескольких миллисекунд). Для задержки сигналов на время $\tau_{зад} = 64$ *мксек* целесообразно с практической точки зрения использовать ультразвуковые линии задержки с твердым звукопроводом. Схема ультразвуковой линии задержки представлена на рис. 33. Входной сигнал поступает на усилитель *1*. Сигнал с этого усилителя через специальный согласующий трансформатор возбуждает кварцевый преобразователь *а*. Принцип работы кварцевого преобразователя основан на использовании широко известного явления пьезоэффекта. Кварцевый преобразователь *а* осуществляет преобразование электрических колебаний в ультразвуковые, распространяющиеся в звукопроводящей среде. На приемном конце в кварцевом преобразователе *б* осуществляется обратное преобразование ультразвуковых колебаний в электрические. Через согласующее устройство задержанный сигнал поступает на усилитель *2*.

Для получения неискаженного задержанного сигнала необходимо, чтобы пьезоэлектрические преобразователи одинаково эффективно осуществляли преобразование всех частот спектра Однако пьезоэлектрические пластины обладают высокими преобразовательными свойствами в области частот, близких к резонансной частоте пьезоэлектрика. Особенно плохо осуществляется преобразование низкочастотных сигналов По этой причине спектр сигнала путем модуляции

обычно переносится в более высокочастотную область. В системе SECAM подлежащие задержке сигналы цветности находятся на частотно-модулированной поднесущей, т. е. они уже перенесены в высокочастотную область спектра. Таким образом, в ультразвуковой линии эффективно осуществляется задержка этих импульсов. Сигналы поступают на вход линии с полосового усилителя (рис. 29,*б*). Лишь после прохождения через линию задержки и коммутатор сигналы цветности детектируются.



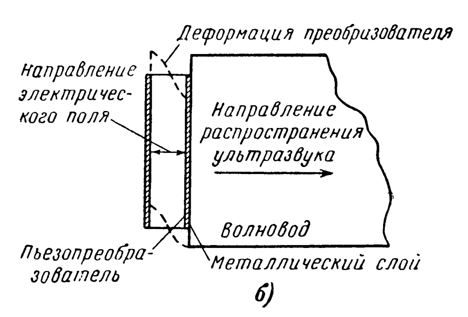


Рис. 34. Возбуждение ультразвуковых колебаний в линии задержки.
а — продольные колебания; *б* — поперечные колебания.

В приемнике системы SECAM применяются линии задержки со стальным ультразвуковым волноводом прямоугольного сечения. Волновод представляет собой брус из мягкой стали квадратного сечения 11×11 *мм* длиной 206 *мм*. На обоих концах стального волновода прикреплены керамические пьезоэлектрические преобразователи из титаната свинца. Титанат свинца не теряет своих пьезоэлектрических свойств вплоть до температуры +250° С Это дает возможность присоединить преобразователи к стальному брусу с помощью пайки. Толщина преобразователей составляет 0,24—0,25 *мм*. При такой толщине резонансная частота преобразователей равна 4,4 *Мгц*, что соответствует частоте поднесущей.

В линии задержки могут возбуждаться как продольные, так и поперечные ультразвуковые колебания. При продольных ультразвуковых колебаниях (рис. 34,*а*) направление деформации преобразователя совпадает с направлением распространения ультразвуковой

волны. На рисунке пунктирной линией показан деформированный под воздействием приложенного электрического поля пьезопреобразователь. Смещения поверхности преобразователя, припаянного к волноводу, вызывают продольные колебания волновода.

На рис. 34,*б* показан пьезопреобразователь, у которого деформация под воздействием электрического поля происходит в поперечном направлении (в направлении, перпендикулярном оси волновода). Этот вид колебаний имеет ряд преимуществ по сравнению с продольными. Главные из них заключаются в следующем:

1) линия задержки с поперечными колебаниями обеспечивает более широкую полосу пропускания;

2) в такой линии меньший уровень паразитных сигналов, образующихся за счет отражения от стенок волновода и различных неоднородностей. Отраженные сигналы могут создавать своеобразное эхо.

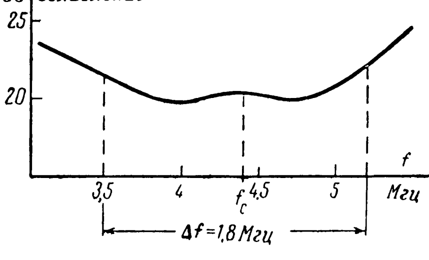


Рис. 35. Частотная характеристика линии задержки.

В линиях задержки с поперечными колебаниями скорость распространения ультразвуковой волны вдоль волновода меньше, чем при продольных колебаниях. Это позволяет приблизительно в $\sqrt{3}$ раз уменьшить длину волновода.

При поперечных колебаниях обеспечивается более эффективная электромеханическая связь между пьезопреобразователем и волноводом.

Ввиду отмеченных преимуществ в линии задержки, применяемой в приемниках системы SECAM, используются поперечные колебания Эта линия характеризуется следующими основными параметрами Линия задержки с $\tau_{зад}=64$ *мксек* обеспечивает полосу пропускания 1,8 *Мгц* при неравномерности частотной характеристики 3 *дб* (рис. 35). Ослабление, которое вносит линия задержки в полосу пропускания, составляет 19—22 *дб*. Уровень паразитных отраженных сигналов не превышает 20 *дб* относительно уровня полезного сигнала. Входное сопротивление линии на частоте поднесущей составляет 80 *ом*, входная емкость — 1 000 *пф*. Поскольку входное сопротивление линии низкое, сигнал подводится к линии через согласующий высокочастотный трансформатор.

Передача постоянной составляющей

В телевизионном приемнике SECAM, так же как и в цветных приемниках других систем, необходимо подавать на приемную трубку сигналы с восстановленной постоянной составляющей. В противном случае возможны яркостные и цветовые искажения. Эти искажения объясняются тем, что сложные цвета (оранжевый, желтый и др.) образуются сложением трех (или двух) основных цветов, и если средний уровень сигнала этих цветов передается неправильно, в результате сложения искажаются цветовые оттенки.

Восстановление постоянной составляющей можно осуществить в анодной или сеточной цепях усилителей сигналов цветности, каж-

дый из которых обычно выполняется на одной лампе. Однако такое решение задачи усложнит схему приемника и увеличит его стоимость, так как в этом случае для восстановления постоянной составляющей необходимо иметь три управляемые фиксирующие схемы. В случае, когда фиксация осуществляется в анодных цепях видеоусилителей, необходимы мощные управляющие импульсы и диоды, выдерживающие высокие обратные напряжения. Если осуществить фиксацию уровня в сеточных цепях усилителей, где видеосигнал имеет меньшее напряжение, задача восстановления постоянной составляющей упрощается, однако усложняются схемы видеоусилителей сигналов цветности. В данном случае все три усилителя должны обладать высокой стабильностью, так как видеосигналы с анодов этих каскадов поступают на кинескоп непосредственно (без разделительных конденсаторов) и случайное изменение постоянного напряжения хотя бы на аноде одной лампы приведет к искажению изображения (нарушается правильная окраска).

Наиболее экономичным следует признать решение, которое было принято конструкторами приемника системы SECAM. В приемнике используется постоянная составляющая, образующаяся на выходах частотных дискриминаторов В этом случае между частотными дискриминаторами и сеточной цепью видеоусилителя разделительные емкости не включаются. При таком выполнении приемник удешевляется, так как устраняются три фиксирующие схемы и устройство формирования фиксирующих импульсов. Однако при этом требуются весьма стабильные видеоусилители и дискриминаторы.

Частотные дискриминаторы должны быть настроены так, чтобы при подаче на их вход немодулированной поднесущей частоты (4,43 *Мгц*) напряжение на их выходах должно быть равно нулю, так же как при отсутствии поднесущей. Иначе при переходе на прием черно-белых• сигналов, когда поднесущая цветности отсутствует, произойдет именение постоянной составляющей и потребуется дополнительная подстройка.

Требуемая устойчивость настройки частотных дискриминаторов приемников системы SECAM была определена экспериментально. Установлено, что допускается расстройка контуров дискриминаторов не более ±14 *кгц*. Требуемая стабильность настройки дискриминатора в приемнике системы SEKAM достигается принятием специальных мер по ослаблению влияния влажности, колебания температуры и старения деталей.

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ SECAM, NTSC И PAL

Чувствительность к частотным, фазовым и нелинейным искажениям

Системы SECAM и PAL более устойчивы к различным искажениям в тракте передачи, чем система NTSC. Основной недостаток системы NTSC заключается в чувствительности к частотным, нелинейным и фазовым искажениям сигнала цветности, в сложности эксплуатации телевизионного приемника. При выборе системы цвет-

ного телевидения специалисты разных стран учитывают местные условия, при которых система будет эксплуатироваться Для Советского Союза, имеющего большую территорию, наибольшую ценность представляет система, мало чувствительная к искажениям при передаче по радиорелейным и кабельным линиям на большие расстояния. Передача телевидения по радиорелейным линиям на большие расстояния связана с большим количеством ретрансляций телевизионного сигнала. При этом происходит накопление искажений. Для получения на экране приемника системы NTSC изображения хорошего качества необходимо, чтобы искажения, вносимые любым из многочисленных звеньев тракта передачи, были предельно малыми. Требуемое качество аппаратуры радиорелейных линий на современном уровне развития техники вполне достижимо, однако внедрение такой аппаратуры связано с большими капитальными затратами Поэтому для Советского Союза с его громадной территорией экономическая сторона внедрения системы цветного телевидения является первостепенной.

При сравнении систем цветного телевидения обычно учитывают следующие качественные и технико-экономические показатели.

1. Чувствительность к частотным, фазовым и нелинейным искажениям.

2. Качество цветного изображения.

3. Совместимость системы.

4. Помехоустойчивость.

5. Сложность и связанная с ней стоимость приемника.

6. Возможность записи сигналов цветного изображения на видеомагнитофон.

Исходя из этих показателей, сравним кратко существующие системы.

Неравномерность частотных и фазовых характеристик тракта передачи в той области частот, где расположены составляющие спектра сигнала цветности, приводит в системе NTSC к искажению изображения. Эти искажения проявляются на экране в виде окантовок на границах участков, резко отличающихся по цвету. При этом такие цветовые окантовки становятся уже заметными при небольших частотных искажениях, причем эти искажения намного меньше допустимых в черно-белом телевидении. По этой причине к частотным и фазовым характеристикам различных элементов аппаратуры в системе NTSC предъявляются весьма жесткие требования. Сказанное в полной мере относится также к системе PAL. Применение в системе SECAM частотной модуляции для передачи цветных сигналов позволяет не предъявлять к равномерности частотных характеристик более жестких требований, чем для систем черно-белого телевидения. Все искажения сигнала цветности, возникающие из-за неравномерности частотных характеристик, устраняются в амплитудных ограничителях приемника. В этом отношении система SECAM имеет значительные преимущества перед системой NTSC и PAL.

Другим видом искажений, к которым чувствительна система NTSC, являются искажения типа «дифференциальное усиление». Этот тип искажений вызывается нелинейностью амплитудной характеристики отдельных звеньев передачи. Хотя большинство усилительных звеньев на передающем телецентре и в телевизионном приемнике настраивается таким образом, что нелинейные искажения прак-

тически отсутствуют, некоторые элементы все же имеют заметную нелинейность амплитудной характеристики. К ним можно отнести модуляционную характеристику передатчика, изображенную на рис. 36. Модуляционная характеристика представляет собой зависимость уровня высокочастотного сигнала на выходе передатчика от напряжения видеосигнала. При передаче сигналов цветного телевидения сигнал цветовой поднесущей накладывается на яркостный сигнал, как это показано на рис. 36. Такой испытательный сигнал соответствует случаю передачи изображения, содержащего ступени

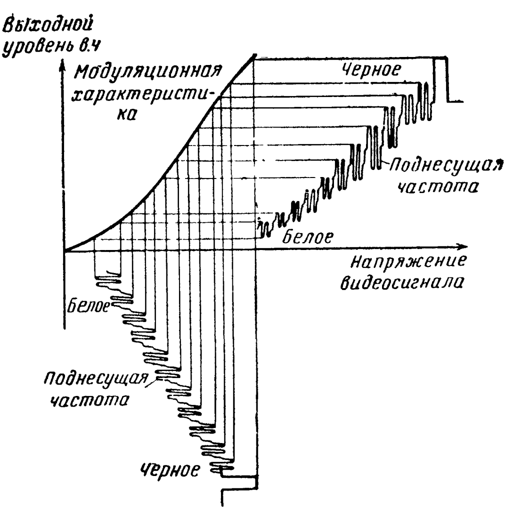


Рис. 36. Искажения типа «дифференциальное усиление» за счет нелинейности амплитудной характеристики передатчика.

яркости от белого до черного с наложенными сигналами цветности. В результате нелинейности модуляционной характеристики напряжение сигналов цветности оказывается зависимым от уровня сигнала яркости. Под дифференциальным усилением следует понимать крутизну в данной точке модуляционной характеристики. Каждой точке на модуляционной характеристике (рис. 36) соответствует свое дифференциальное усиление, что приводит к изменениям размаха сигналов цветности. Кроме модулятора передатчика, подобные искажения могут вносить и другие звенья телевизионного тракта.

Искажения типа «дифференциальное усиление» проявляются на изображении в системе NTSC в виде паразитного изменения насыщенности передаваемого цвета. Так как в системе SECAM применяется частотная модуляция поднесущей, изменение ее амплитуды не приводят к искажениям цвета, потому что возникшая паразитная амплитудная модуляция устраняется в ограничителе приемника. Искажения градаций в яркостном сигнале при этом остаются, однако они заметны не более чем в черно-белом телевидении. Система PAL в отношении искажений типа «дифференциальное усиление» не имеет

преимуществ перед NTSC, так как в ней применяется тот же метод модуляции поднесущей.

Другим видом искажений, приводящим в системе NTSC к искажениям цветового тона передаваемой детали изображения, являются искажения типа «дифференциальная фаза». Для оценки влияния этого вида искажения рассмотрим процесс разделения сигналов цветности в приемнике NTSC. Как рассматривалось в гл. 2, разделение сигналов цветности в приемнике NTSC осуществляется путем синхронного детектирования. Для этого на детекторы, кроме сигналов E_I и E_Q, подаются вспомогательные синусоидальные сигналы, обозначенные на рис. 37, через I и Q; эти синусоидальные сигналы имеют одну и ту же частоту, но сдвинуты по фазе на 90° (рис. 37,*а*). Для идеального разделения сигналов необходимо, чтобы опорное напряжение I

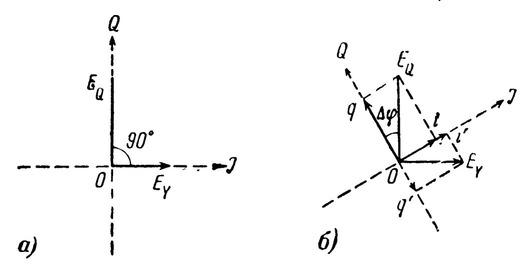


Рис. 37. Перекрестные фазовые искажения в системе NTSC.

а — идеальный случай работы синхронных детекторов; *б* — паразитный фазовый сдвиг Δφ за счет искажений типа «дифференциальная фаза».

точно совпадало по фазе с сигналом E_I, а Q — с сигналом E_Q. Для получения вспомогательных напряжений I и Q поднесущей частоты в приемнике используется кварцованный генератор, синхронизируемый сигналом вспышки. Однако вследствие ошибок в восстановлении фазы поднесущей возможен сдвиг векторов $Q—E_Q$ и $I—E_I$. На рис. 37,*б* этот сдвиг обозначен как Δφ. При наличии отмеченного фазового сдвига сигнал на выходе детектора канала цветности Q пропорционален проекции *oq* вектора E_Q на ось Q. Таким образом, часть сигнала E_Q из-за наличия фазового сдвига попадает в канал I. Составляющая сигнала E_Q, попавшая в канал I, пропорциональна величине проекции E_Q на ось I. Эта проекция отмечена на рисунке как *oi*.

Аналогичным образом сигнал E_I можно разложить на две составляющие, одну *oi'*, параллельную оси I, и другую *oq'*, параллельную оси Q. Таким образом, в канале I мы будем иметь на выходе детектора сигнал E_I и помеху — часть сигнала E_Q, а в канале Q — полезный сигнал E_Q и помеху — часть сигнала E_I. Такие перекрестные искажения заметны на изображении, если фазовый сдвиг Δφ превышает 10°. Так как фазовые сдвиги возникают в нескольких звеньях тракта передачи, то в приемнике допускается фазовый сдвиг не более 5°.

При наличии искажений типа «дифференциальная фаза» возникают паразитные сдвиги фазы цветового сигнала, величина которых зависит от уровня сигнала яркости относительно сигнала вспышки,

передаваемого на вершине гасящего импульса. Зависящие от уровня яркостного сигнала фазовые сдвиги могут возникать в самых различных звеньях канала связи Особенно часто такие искажения возникают в каскадах радиопередатчиков, работающих с сеточными токами, и в радиорелейных линиях с частотной модуляцией. Обычные передатчики и радиорелейные линии не могут быть использованы для передачи сигналов системы NTSC без предварительной коррекции искажений дифференциальной фазы.

В системе SECAM зависящие от яркости изменения фазы поднесущей частоты не оказывают влияния на правильность воспроизведения цветового тона, так как в ней нет синхронных детекторов, чувствительных к сдвигу фазы между детектируемым и вспомогательным синусоидальным сигналом. Перекрестные искажения исключены также потому, что цветовые сигналы передаются поочередно в разное время. Поэтому для передачи сигналов системы SECAM могут применяться обычные радиорелейные линии.

В системе PAL за счет коммутации фазы сигнала E_I происходит компенсация искажений типа «дифференциальная фаза». Однако на практике эта компенсация оказывается неполной.

Оценивая системы цветного телевидения с точки зрения качества изображения, необходимо учитывать два обстоятельства. С одной стороны, можно сравнивать качество изображения, получаемое на телевизионных приемниках разных систем при идеальных условиях передачи и приема сигнала. С другой стороны, можно проводить оценку, сравнивая изображения при реальных условиях передачи, когда в тракте передачи возникают искажения сигнала и когда телевизионный приемник настраивается телезрителем, не имеющим специального радиотехнического образования.

В первом варианте мы фактически оцениваем потенциальные возможности системы цветного телевидения. Во втором мы сравниваем качество изображений, которые могут увидеть на своих экранах телезрители. Оба варианта оценки одинаково необходимы. Действительно, качество изображения, которое может быть получено на экране приемника при настоящем уровне развития техники, определяет в значительной степени быстроту внедрения системы. Высокие потенциальные возможности системы обеспечивают улучшение качества изображения по мере совершенствования технических средств передачи.

Наилучшее качество изображения при отсутствии искажений в тракте передачи обеспечивает система NTSC.

Но, несмотря на то что в системе NTSC достигается потенциально более высокое качество изображения, различия в качественных показателях изображения на экранах телевизионных приемников NTSC, PAL и SECAM при реальных условиях передачи практически не наблюдается.

Совместимость систем

В связи с тем, что черно-белое телевидение получило широкое распространение и количество телевизионных приемников велико, совершенно ясно, что в течение ряда лет как цветное, так и черно-белое телевидение будут существовать одновременно. При этом важно, чтобы цветное изображение на экранах черно-белых приемников было возможно более высокого качества. Сигналы цветности образуют на экране черно-белого приемника помеху в виде мелкой сетки. Ее мешающее действие меньше всего заметно в системе NTSC.

Это объясняется прежде всего точечным перемежением сигналов цветности на экране приемника и подавлением поднесущей частоты в балансных модуляторах кодирующего устройства передающего телецентра При передаче черно-белых участков изображения в системе NTSC сигналы цветности вообще отсутствуют.

В системе SECAM из-за применения частотной модуляции поднесущая сигналов цветности не может быть полностью подавлена. Так как частота поднесущей выбрана кратной строчной частоте, отсутствует и частотное перемежение. Для устранения мешающего действия сигналов цветности в системе SECAM применяется коммутация фазы поднесущей. Наивыгоднейший порядок чередования фазы был определен экспериментальным путем. Это мероприятие не приводит к полному устранению заметности помехи из-за того, что в системе SECAM в двух смежных кадрах на одной и той же строке передаются разные цветовые сигналы. Однако применение предыскажений сигналов цветности позволяет существенно уменьшить заметность помехи на экране черно-белого приемника.

В системе PAL коммутация фазы сигнала устраняет частотное перемежение сигналов цветности, которое имелось в системе NTSC. Для компенсации помехи на экране черно-белых приемников в системе PAL так же, как и в системе SECAM, применяется коммутация фазы поднесущей Однако эта мера не обеспечивает полного устранения помех и в результате система PAL по этому показателю стоит ниже SECAM.

Сложность приемников разных систем

Важным качеством внедряемой телевизионной системы является простота, надежность и возможно меньшая стоимость телевизионного приемника Наиболее сложным узлом приемника системы NTSC является блок цветности, включающий в себя синхронные детекторы и схему восстановления фазы поднесущей частоты. Для получения высококачественного разделения сигналов цветности в приемнике NTSC требуется очень точное поддержание фазы генератора, вырабатывающего сигнал для синхронного детектирования. При наличии сдвига фазы между сигналом поднесущей, восстановленной в приемнике, и передаваемыми сигналами цветности возникают перекрестные искажения, заключающиеся в частичном прохождении сигнала E_Q в канал I и сигнала E_I в канал Q. При перекрестных искажениях нарушается правильность воспроизведения цветового тона передаваемого изображения. Фазовые сдвиги, возникающие в приемнике, не должны превышать 5°. Для получения требуемой стабильности восстановленной поднесущей частоты в приемнике NTSC применяется генератор, стабилизированный кварцем.

В приемнике системы SECAM нет синхронных детекторов, а следовательно, нет необходимости восстанавливать сигнал цветовой поднесущей. Но в этой системе в блоке цветности имеются частотные детекторы, линия задержки, электронный коммутатор и схема цветовой синхронизации В результате сложность блоков цветности приемников в системе SECAM и NTSC получается приблизительно одинаковой. Однако очень существенно, что в приемнике SECAM нет необходимости в регулировке цветового тона и насыщенности, что упрощает эксплуатацию приемника. Важно также, что в приемнике SECAM не требуется такого точного поддержания параметров от-

дельных узлов, как в NTSC, что улучшает стабильность работы приемника и упрощает его настройку.

Приемник системы PAL содержит и синхронные детекторы и линию задержки, причем стабильность времени задержки в приемнике PAL должна быть выше, чем в системе SECAM.

Стоимость приемников цветного телевидения в основном определяется стоимостью кинескопа. Возможная разница в стоимости приемников разных систем не превышает нескольких процентов.

Возможность записи на видеомагнитофон

Для записи сигналов NTSC и PAL на видеомагнитофон требуется специальное дополнительное оборудование и более качественная регулировка самого видеомагнитофона. Для записи сигналов системы SECAM может быть применен обычный видеомагнитофон. Общее качество изображения, полученного с видеомагнитофона в SECAM, значительно лучше, чем в NTSC и PAL. Учитывая, что видеомагнитофон широко применяется для консервации телевизионных программ, можно считать, что система SECAM в этом отношении имеет значительное преимущество перед NTSC и PAL.

Краткие выводы

Из приведенного сравнения основных показателей трех систем: NTSC, PAL и SECAM можно сделать вывод, что для СССР наиболее подходящей является система SECAM.

Канал цветности этой системы наименьшим образом по сравнению с другими системами подвержен частотным, фазовым и нелинейным искажениям, что особенно важно для нашей обширной страны с ее радиорелейными и кабельными линиями большой протяженности.

Основным недостатком системы SECAM является ее невысокая помехоустойчивость. Предыскажения, применяемые в этой системе — подъем верхних частот сигналов цветности, хотя и улучшают помехоустойчивость, но недостаточно.

Можно выразить уверенность, что совместная научная и инженерная работа французских и советских специалистов приведет в скором времени к устранению наиболее существенных недостатков системы SECAM.

СОДЕРЖАНИЕ

Самойлов Владимир Федорович, Хромой Борис Петрович

Система цветного телевидения SECAM

Редактор *С. Э. Кишиневский* Техн. редактор *В. Н. Малькова*
Корректор *Е. Х. Горбунова*

Сдано в набор 1/III 1967 г. Подписано к печати 3/VI 1967 г.
Т-06959 Бумага типографская № 2 Формат $84 \times 108^1/_{32}$
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 4,42
Тираж 30 000 экз. Цена 18 коп. Заказ 95

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114. Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Шлюзовая наб., 10.

O

R G B R

$T_к = \frac{1}{50}$ сек | $\frac{1}{50}$ сек | $\frac{1}{50}$ сек

$T_ц = \frac{3}{50}$ сек | $T_ц$

18 коп.

